



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**  
**FACULTAD DE INFORMÁTICA Y ELECTRÓNICA**  
**CARRERA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA EN CONTROL Y REDES**  
**INDUSTRIALES**

**“IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE VISIÓN ARTIFICIAL  
SOBRE WILLOW PARA RECREAR MOVIMIENTOS QUE  
AYUDEN EN EL APRENDIZAJE Y ESTIMULACIÓN MOTRIZ DE  
NIÑOS DE 3-5 AÑOS DE EDAD”**

**Trabajo de titulación**

Tipo: Dispositivo Tecnológico

Presentado para optar al grado académico de:

**INGENIERO EN ELECTRÓNICA, CONTROL Y REDES  
INDUSTRIALES.**

**AUTORES:** LISETH JOHANNA ANDRADE TELLO  
DANIEL MARCELO VALLEJO BARRAGÁN

**DIRECTOR:** ING. JOSÉ LUIS TINAJERO LEÓN

Riobamba- Ecuador  
2021

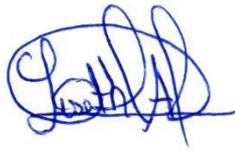
**@2021, Liseth Johanna Andrade Tello; & Daniel Marcelo Vallejo Barragán**

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo la cita bibliográfica del documento, siempre u cuando se reconozca el Derecho de los Autores.

Nosotros, LISETH JOHANNA ANDRADE TELLO Y DANIEL MARCELO VALLEJO BARRAGÁN, declaramos que el presente trabajo de titulación es de nuestra autoría y los resultados del mismo son auténticos. Los textos en el documento provienen de otras fuentes están debidamente citados y referenciados.

Como autores asumimos la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este trabajo de titulación; El patrimonio intelectual pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Riobamba, 19 de febrero del 2021



**Liseth Johanna Andrade Tello**  
**060390889-8**

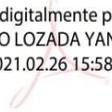


Firma Digitalizada

**Daniel Marcelo Vallejo Barragán**  
**230011905-0**

**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO FACULTAD DE  
INFORMÁTICA Y ELECTRÓNICA CARRERA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA  
EN CONTROL Y REDES INDUSTRIALES**

El Tribunal del Trabajo de Titulación certifica que: El trabajo de investigación: Tipo Dispositivo Tecnológico “IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE VISIÓN ARTIFICIAL SOBRE WILLOW PARA RECREAR MOVIMIENTOS QUE AYUDEN EN EL APRENDIZAJE Y ESTIMULACIÓN MOTRIZ DE NIÑOS DE 3-5 AÑOS DE EDAD”, de responsabilidad de LISETH JOHANNA ANDRADE TELLO y DANIEL MARCELO VALLEJO BARRAGÁN, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal del Trabajo de Titulación, con lo cual queda autorizada su presentación.:

<b>NOMBRE</b>	<b>FIRMA</b>	<b>FECHA</b> <b>(2021-02-19)</b>
<b>ING. JORGE LUIS HERNÁNDEZ AMBATO PRESIDENTE DEL TRIBUNAL</b>	 <small>Firmado digitalmente por JORGE LUIS HERNANDEZ AMBATO DN: cn=JORGE LUIS HERNANDEZ AMBATO, c=EC, o=SECURITY DATA S.A., t=ENTIDAD DE CERTIFICACION DE INFORMACION, email=jorge.hernandez@espol.edu.ec, Motivo: Estoy de acuerdo con las partes indicadas de este documento. Fecha: 2021.02.23 00:17:26 -05'00'</small>	2021-02-19
<b>ING. JOSÉ LUIS TINAJERO LEÓN DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN</b>	<b>JOSE LUIS TINAJERO LEON</b>  <small>Firmado digitalmente por JOSE LUIS TINAJERO LEON Fecha: 2021.02.23 09:46:50 -05'00'</small>	2021-02-19
<b>ING. PABLO EDUARDO LOZADA YÁNEZ MIEMBRO DEL TRABAJO DE TITULACIÓN</b>	<small>Firmado digitalmente por PABLO EDUARDO LOZADA YANEZ Fecha: 2021.02.26 15:58:33 -05'00'</small> 	2021-02-19

## **DEDICATORIA**

Dedico este trabajo a mi hija Stefanny Salazar por ser la inspiración que he necesitado para forjarme en la persona que hoy en día soy. A mis padres Jorge Andrade y Rosita Tello por su amor y su apoyo incondicional, por todos los sacrificios que han hecho para darme todo lo necesario, por tratar de ayudarme siempre a superar las adversidades que se me han presentado en la vida. A mi esposo Mario Salazar por todos los esfuerzos que ha hecho siempre por el bienestar de nuestra familia. A mis hermanos George y Tito por todo el apoyo que me han brindado demostrándome que puedo contar con ellos siempre. Y a la memoria de Jaime Onofre Tello Tello y Abigail Vicitación Tello Brito, por todo el cariño y el amor incondicional que toda la vida me demostraron, por sus sabios consejos, por sus palabras de aliento, por estar siempre cuando más los necesitaba, por enseñarme que lo más importante siempre es la familia. Se que desde donde estén van a seguir guiando e iluminando mis pasos como toda la vida lo hicieron. Siempre los llevaré en mi corazón, y los recordaré como las personas buenas, amables, cariñosas, honorables, llenas de valores y cualidades que toda la vida demostraron ser a todos quienes los conocieron.

Liseth

Dedico este trabajo al esfuerzo de toda mi familia ya que sin ellos no hubiera logrado mis metas profesionales, a mis dos madres Lila Barragan y Sabina Vallejo, por haberme brindado ese cariño y ese apoyo que me dio fortaleza para continuar en todo mi camino universitario, a mis seis padres Jaime Vallejo, Hugo Vallejo, Rene Vallejo, Soni Vallejo, Pedro Vallejo, Marcelo Chimbo los cuales me transmitieron un ejemplo intachable de moral, perseverancia y esfuerzo que plantaron las bases de la persona que soy actualmente, a mis cinco hermanos Jefferson Vallejo, Patricia Vallejo, Vinicio Chimbo, Leonardo Chimbo, Marcela Chimbo quienes me brindaron su apoyo y cariño que necesitaba en mis peores y mejores momentos. Incondicional en todo momento y a toda hora. Dedico este trabajo a mi padre Daniel Vallejo lamentablemente no esta conmigo en persona, pero siempre llevaré su nombre con orgullo y honor con la esperanza de algun dia llegar a ser un ejemplo asi como el lo fue conmigo.

Daniel

## AGRADECIMIENTO

En primer lugar, a Dios por todas las bendiciones brindadas en el transcurso de mi vida. A la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo por darme la oportunidad de recibir una educación de calidad en tan prestigiosa institución. A los docentes de la carrera de Ingeniería Electrónica en Control y Redes Industriales por todos los conocimientos y consejos que nos han brindado a mí y mis compañeros con la finalidad de hacer de nosotros profesionales exitosos y grandes seres humanos. A nuestro tutor Ing. José Luis Tinajero por todo el apoyo brindado durante el desarrollo de este trabajo de titulación. A mi compañero y amigo Daniel Vallejo por todo su apoyo y colaboración brindada no solo durante el desarrollo de nuestro trabajo de titulación sino también durante el tiempo que fuimos compañeros. Finalmente, a todas las personas quienes de una u otra forma han hecho posible este logro.

Liseth

Agradezco a Dios por permitirme estar con vida y a no temer de las adversidades que se me han presentado en la trayectoria tanto en mi vida universitaria como personal. De igual manera mis agradecimientos a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo por abrirme las puertas y brindarme una educación de calidad, a la Facultad de Informática y Electrónica, a mis profesores quienes con la enseñanza de sus valiosos conocimientos hicieron que pueda crecer día a día como profesional, gracias a cada uno de ustedes por su paciencia, dedicación, apoyo incondicional y amistad. También agradezco a toda mi familia por ser mi apoyo fundamental en esta nueva etapa de mi vida, además por inculcar en mí un ejemplo para formarme como una persona de bien. Gracias a aquellos que estuvieron conmigo sin dejar que me rinda.

Daniel

## TABLA DE CONTENIDOS

ÍNDICE DE TABLAS.....	x
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xi
ÍNDICE DE GRAFICAS.....	xii
RESUMEN .....	xiii
ABSTRACT.....	xiv
INTRODUCCIÓN .....	1
<b>CAPITULO I</b>	
<b>1 MARCO TEÓRICO REFERENCIAL.....</b>	<b>5</b>
<b>1.1 Estimulación Temprana .....</b>	<b>5</b>
<i>1.1.1 Concepto.....</i>	<i>5</i>
<i>1.1.2 Áreas de estimulación .....</i>	<i>5</i>
<i>1.1.2.1 Desarrollo sensorial .....</i>	<i>5</i>
<i>1.1.2.2 Desarrollo motriz.....</i>	<i>6</i>
<i>1.1.2.3 Desarrollo cognitivo .....</i>	<i>6</i>
<i>1.1.2.4 Desarrollo del lenguaje .....</i>	<i>6</i>
<b>1.2 Estimulación Psicomotriz .....</b>	<b>6</b>
<i>1.2.1 Definición.....</i>	<i>6</i>
<i>1.2.2 Tipos de Psicomotricidad.....</i>	<i>7</i>
<i>1.2.2.1 Motricidad Gruesa.....</i>	<i>7</i>
<i>1.2.2.2 Equilibrio postural: .....</i>	<i>7</i>
<i>1.2.2.3 Motricidad fina:.....</i>	<i>7</i>
<i>1.2.3 Ventajas de la estimulación motriz en niños .....</i>	<i>7</i>
<b>1.3 Robótica.....</b>	<b>8</b>
<i>1.3.1 Definición.....</i>	<i>8</i>
<b>1.4 Robot.....</b>	<b>8</b>
<i>1.4.1 Definición.....</i>	<i>8</i>
<i>1.4.2 Clasificación de los robots .....</i>	<i>9</i>
<b>1.5 Robots Humanoides .....</b>	<b>10</b>
<i>1.5.1 Clasificación de los robots .....</i>	<i>10</i>
<i>1.5.1.1 ASIMO .....</i>	<i>11</i>
<i>1.5.1.2 Robot Pepper .....</i>	<i>11</i>

1.5.1.3	<i>Robot Romeo:</i> .....	12
1.5.2	<i>Características de los robots Humanoides</i> .....	12
1.5.3	<i>Impacto de la utilización de robots humanoides en el aprendizaje de niños</i> .....	13
1.6	<b>Robot Humanoide Willow</b> .....	13
1.7	<b>Visión Artificial</b> .....	14
1.7.1	<i>Definición</i> .....	14
1.7.2	<i>Etapas de un sistema de visión artificial</i> .....	15
1.7.3	<i>Componentes para el Procesamiento Digital de Imágenes</i> .....	15
1.7.3.1	<i>Fuente de Luz</i> .....	15
1.7.3.2	<i>Cámara</i> .....	16
1.7.3.3	<i>Tarjeta de adquisición</i> .....	16
1.7.3.4	<i>Módulo de Proceso</i> .....	16
1.7.3.5	<i>Sistema de respuesta en tiempo real</i> .....	16
1.7.4	<i>Algoritmos de Visión Artificial</i> .....	17
1.7.4.1	<i>Histogramas de gradientes orientadas (HOG-MO)</i> .....	17
1.7.4.2	<i>Algoritmos de aprendizaje profundo</i> .....	17
1.7.5	<i>Aplicaciones de Visión Artificial</i> .....	17
1.7.5.1	<i>Medición o calibración:</i> .....	18
1.7.5.2	<i>Detección de fallas</i> .....	18
1.7.5.3	<i>Verificación</i> .....	18
1.7.5.4	<i>Reconocimiento:</i> .....	18
1.7.5.5	<i>Identificación:</i> .....	19
1.7.5.6	<i>Análisis de localización</i> .....	19
1.7.6	<i>Técnica de Visión artificial de Estimación de Pose (PoseNet)</i> .....	19
1.7.6.1	<i>Funcionamiento del modelo PoseNet</i> .....	20
1.8	<b>Software</b> .....	20
1.8.1	<i>Matlab</i> .....	20
1.8.2	<i>Python</i> .....	21
1.8.3	<i>Open CV</i> .....	21
1.8.4	<i>Ubuntu Mate</i> .....	22
1.9	<b>Tarjeta de Desarrollo</b> .....	22
1.9.1	<i>Raspberry PI 4</i> .....	22
1.9.2	<i>Arduino</i> .....	23
1.10	<b>Dispositivo de captura</b> .....	24
1.10.1	<i>Módulo de cámara para Raspberry</i> .....	24
1.11	<b>Componentes Electrónicos</b> .....	24
1.11.1	<i>Servomotor sg90</i> .....	24

1.11.2	<i>Servomotor Hitec HS-311</i> .....	25
1.11.3	<i>Regulador Step-Down MP1584</i> .....	26
1.11.4	<i>Batería Lipo Nano-tech 2s, 7.4V, 1500mAh</i> .....	27

## CAPITULO II

<b>2</b>	<b>PROPUESTA Y DISEÑO DE PROTOTIPO</b> .....	<b>28</b>
<b>2.1</b>	<b>Fase de Investigación</b> .....	<b>29</b>
2.1.1	<i>Concepción general de la arquitectura del sistema</i> .....	29
2.1.2	<i>Requerimiento del Prototipo Willow_VA</i> .....	30
<b>2.2</b>	<b>Fase de Diseño</b> .....	<b>31</b>
2.2.1	<i>Diseño estructural de Willow_VA</i> .....	31
2.2.2	<i>Modelado Matemático</i> .....	34
2.2.2.1	<i>Modelado cinemático del Brazo</i> .....	34
2.2.3	<i>Dimensionamiento de elementos electrónicos</i> .....	36
2.2.4	<i>Diagrama de conexiones</i> .....	37
<b>2.3</b>	<b>Fase de Selección</b> .....	<b>38</b>
2.3.1	<i>Hardware</i> .....	38
2.3.2	<i>Software</i> .....	38
2.3.2.1	<i>Requerimiento de los softwares a utilizar</i> .....	39
2.3.2.2	<i>Descripción de los softwares utilizados</i> .....	39
<b>2.4</b>	<b>Fase de Implementación</b> .....	<b>39</b>
2.4.1	<i>Ensamblaje de la estructura del prototipo Willow_VA</i> .....	39
2.4.2	<i>Sistema de visión artificial</i> .....	42
2.4.2.1	<i>Requerimiento General del sistema de Visión artificial</i> .....	42
2.4.3	<i>Algoritmos del Sistema de Visión Artificial</i> .....	43
2.4.3.1	<i>Flujograma del General del funcionamiento de Willow_VA</i> .....	43
2.4.3.2	<i>Flujograma del sistema de visión artificial de Willow_VA</i> .....	44
<b>2.5</b>	<b>Fase de Evaluación</b> .....	<b>45</b>
2.5.1	<i>Funcionamiento del Sistema de Visión Artificial</i> .....	45

## CAPITULO III

<b>3</b>	<b>VALIDACIÓN DE PROTOTIPO</b> .....	<b>48</b>
<b>3.1</b>	<b>Evaluación de Funcionamiento</b> .....	<b>48</b>
3.1.1	<i>Prueba de detección de personas del Sistema</i> .....	48
3.1.2	<i>Prueba de respuesta del Sistema ante diferentes iluminaciones</i> .....	50
3.1.3	<i>Prueba de tiempo de procesamiento</i> .....	53
<b>3.2</b>	<b>Evaluación de Terapias Psicomotriz en niños de 3 a 5 años de edad</b> .....	<b>54</b>
3.2.1	<i>Prueba de terapia motriz sin Willow_VA</i> .....	54

3.2.2	<i>Prueba de terapia motriz con Willow_VA</i> .....	55
3.3	<b>Aceptación del prototipo Willow_VA</b> .....	57
3.3.1	<i>Evaluación de las encuestas dirigidas a los niños a estudio</i> .....	57
3.3.1.1	<i>Análisis de la encuesta</i> .....	57
3.3.2	<i>Evaluación de las encuestas dirigidas a los docentes</i> .....	60
3.3.2.1	<i>Análisis de los datos obtenidos de la encuesta a los docentes</i> .....	60
3.4	<b>Validación estadística de la eficiencia obtenida en la terapia con Willow_VA</b> .....	63
3.4.1	<i>Prueba estadística</i> .....	64
<b>CAPITULO IV</b>		
4	<b>EVALUACIÓN ECONÓMICA</b> .....	66
4.1	<b>Análisis de costos</b> .....	66
4.2	<b>Relación de costo</b> .....	66
<b>CONCLUSIONES</b> .....		68
<b>RECOMENDACIONES</b> .....		70
<b>GLOSARIO</b>		
<b>BIBLIOGRAFÍA</b>		

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1-1:</b> Características técnicas de Servomotor sg90 .....	25
<b>Tabla 2-1:</b> Características técnicas de Servomotor Hitec .....	26
<b>Tabla 3-1:</b> Características técnicas de regulador step-down MP1584 .....	27
<b>Tabla 4-1:</b> Características técnicas de Batería Lipo Nano-tech .....	27
<b>Tabla 1-2:</b> Parámetros de Denavid Hatenberd del Brazo.....	35
<b>Tabla 2-2:</b> Comparación de amperaje de consumo.....	36
<b>Tabla 3-2:</b> Características técnicas para Willow_VA.....	38
<b>Tabla 1-3:</b> Resultados obtenidos de la prueba de distractores .....	48
<b>Tabla 2-3:</b> Resultado de la eficiencia del sistema en la mañana .....	50
<b>Tabla 3-3:</b> Resultados de la eficiencia del sistema al medio día.....	50
<b>Tabla 4-3:</b> Resultado de la eficiencia del sistema en la tarde .....	51
<b>Tabla 5-3:</b> Resultado de la eficiencia del sistema en la noche.....	51
<b>Tabla 6-3:</b> Resultado de la media obtenida de los datos de cada hora del día.....	52
<b>Tabla 7-3:</b> Resultados del tiempo de procesamiento .....	53
<b>Tabla 8-3:</b> Resultados de la terapia motriz sin Wilow_VA .....	54
<b>Tabla 9-3:</b> Porcentaje de efectividad obtenido en cada sujeto a estudio .....	55
<b>Tabla 10-3:</b> Resultados de la terapia motriz con Wilow_VA .....	56
<b>Tabla 11-3:</b> Porcentaje de efectividad obtenido en cada sujeto a estudio .....	56
<b>Tabla 12-3:</b> Datos obtenidos de la encuesta a docentes pregunta 4 .....	62
<b>Tabla 13-3:</b> Prueba t-students para muestras emparejadas de una cola .....	64
<b>Tabla 1-4:</b> Análisis de costos de Hardware .....	66
<b>Tabla 2-4:</b> Comparación de costo.....	67

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1-1:</b> Robot Humanoide .....	10
<b>Figura 2-1:</b> Robot Asimo .....	11
<b>Figura 3-1:</b> Robot Pepper.....	11
<b>Figura 4-1:</b> Robot Romeo .....	12
<b>Figura 5-1:</b> Robot Willow .....	13
<b>Figura 6-1:</b> Aplicación Robot Willow.....	14
<b>Figura 7-1:</b> Técnica de estimación de pose .....	19
<b>Figura 8-1:</b> Inicio de Ubuntu Mate para raspberry .....	22
<b>Figura 9-1:</b> Raspberry Pi 4.....	22
<b>Figura 10-1:</b> Arduino Nano.....	23
<b>Figura 11-1:</b> Cámara Pi noir V2.....	24
<b>Figura 12-1:</b> Servomotor SG-90.....	25
<b>Figura 13-1:</b> Servomotor Hitec HS-311 .....	26
<b>Figura 14-1:</b> Regulador Step-Down mp1584 .....	26
<b>Figura 15-1:</b> Batería Lipo.....	27
<b>Figura 1-2:</b> Etapas de desarrollo del proyecto .....	28
<b>Figura 2-2:</b> Concepción General de la Arquitectura del sistema .....	30
<b>Figura 3-2:</b> Diseño Frontal de Willow_V.....	31
<b>Figura 4-2:</b> Vista lateral de Willow_VA .....	32
<b>Figura 5-2:</b> Diseño posterior de Willow_VA .....	33
<b>Figura 6-2:</b> Cinemática del Brazo Derecho .....	34
<b>Figura 7-2:</b> Diagrama de conexiones del sistema.....	37
<b>Figura 8-2:</b> Impresión de las piezas de Willow_VA .....	40
<b>Figura 9-2:</b> Diseño de pistas del circuito .....	40
<b>Figura 10-2:</b> Etapas de ensamblaje del prototipo Willow_VA .....	41
<b>Figura 11-2:</b> Prototipo Willow_VA .....	41
<b>Figura 12-2:</b> Adquisición de la imagen en tiempo real.....	45
<b>Figura 13-2:</b> Visualización de Paquete de Datos.....	46
<b>Figura 14-2:</b> Funcionamiento de Willow_VA.....	46

## ÍNDICE DE GRAFICAS

<b>Gráfica 1-2:</b> Diagrama de Flujo del funcionamiento general de Willow_VA .....	43
<b>Gráfica 2-2:</b> Diagrama de flujo de funcionamiento de tarjeta de desarrollo .....	44
<b>Gráfica 1-3:</b> Eficiencia del Sistema.....	52
<b>Gráfica 2-3:</b> Valores las encuestas obtenidos para la pregunta 1 .....	57
<b>Gráfica 3-3:</b> Valores las encuestas obtenidos para la pregunta 2.....	58
<b>Gráfica 4-3:</b> Valores las encuestas obtenidos para la pregunta 3.....	58
<b>Gráfica 5-3:</b> Valores las encuestas obtenidos para la pregunta 4.....	59
<b>Gráfica 6-3:</b> Valores las encuestas obtenidos para la pregunta 5.....	59
<b>Gráfica 7-3:</b> Valores las encuestas obtenidos para la pregunta 5.....	59
<b>Gráfica 8-3:</b> Resultado de la encuesta a docente pregunta 1 .....	60
<b>Gráfica 9-3:</b> Resultado de la encuesta a docente pregunta 2 .....	61
<b>Gráfica 10-3:</b> Resultado de la encuesta a docente pregunta 3 .....	61
<b>Gráfica 11-3:</b> Resultado de la encuesta a docente pregunta 2 .....	62
<b>Gráfica 12-3:</b> Eficiencia del sistema según criterio de Expertos .....	62
<b>Gráfica 13-3:</b> Resultado de la encuesta a docente pregunta 6 .....	63
<b>Gráfica 14-3:</b> Resultado de la encuesta a docente pregunta 7 .....	63

## RESUMEN

El objetivo de la investigación fue la implementación de un sistema de visión artificial sobre Willow para recrear movimientos que ayuden en el aprendizaje y estimulación motriz de niños de 3 a 5 años de edad. Se recopiló información de investigaciones realizadas acerca de estimulación motriz en niños en edad pre escolar, a partir de la cual se pudo determinar la terapia que más se adecuó a nuestro trabajo. Durante el desarrollo se realizó el diseño e implementación del prototipo el cual consta de 2 secciones, diseño de la estructura del Robot humanoide y el diseño del sistema de visión artificial. El algoritmo se desarrolló en Python además se utilizó la librería de OPEN CV, para el sistema de visión artificial trabaja con la arquitectura ARM de la tarjeta raspberry Pi4. El primer paso para el desarrollo del algoritmo es la adquisición y filtrado de imagen en tiempo real, una vez cargadas las librerías respectivas y calibrados todos parámetros de la cámara se pasa a la segmentación y procesamiento de imagen. En esta etapa se utilizó la red neuronal TensorFlow, para el caso de Willow\_VA el algoritmo se programó para la detección de la parte media superior del cuerpo. Una vez obtenido el paquete de datos del sistema este se envía por medio de comunicación serial al microcontrolador del Robot para que se ejecute los movimientos. Por medio de las pruebas de validación realizadas se pudo concluir que el prototipo tuvo una gran acogida por parte de los docente y niños, así también, que el prototipo obtuvo un promedio de eficiencia del entre 90% y 100%. Se recomienda para investigaciones futuras trabajar con un framework de código de aprendizaje profundo de paga ya que Tensorflow lite tiene ciertos problemas de compilación para la comunicación y ejecución de rutinas más complejas.

**Palabras Clave:** <ESTIMULACIÓN MOTRIZ>, <TERAPIA >, <HUMANOIDE>, <ROBOT>, <VISIÓN ARTIFICIAL>, <ADQUISICIÓN DE IMAGEN>, <ARQUITECTURA ARM>, <PHYTON(SOFTWARE)>, <OPEN CV(SOFTWARE)>, <TENSORFLOW>.



8-1-2021

0538-DBRAI-UPT-2021

## **ABSTRACT**

The objective of the research was the implementation of an artificial vision system on Willow to recreate movements helping in learning and motor stimulation in 3-5-year-old children. Information was collected from research carried out about motor stimulation in preschool-age children, from this information was possible to determine the therapy that was best suited to this research. During the development, the design and implementation of the prototype were carried out, which consists of two sections, the design of the structure of the humanoid Robot and the design of the artificial vision system. The algorithm was developed in Python furthermore, the OPEN CV library was used, to work the artificial vision system with the ARM architecture of the raspberry Pi4 card. The first step for the development of the algorithm is the acquisition and filtering of the image in real-time. Once the respective libraries have been loaded and all camera parameters have been calibrated, the segmentation and image processing are carried out. In this stage, the TensorFlow neural network was used, in the case of Willow\_VA, the algorithm was programmed to detect the upper middle part of the body. Once the data package of the system is obtained, they are sent through serial communication to the Robot's microcontroller so that the movements can be executed. Through the validation tests carried out, it was possible to conclude that the prototype was well received by the teachers and children, as well as the prototype had an average efficiency of 90-100 in terms of percentage. It is recommended for future research to work with a paid deep learning code framework due to TensorFlow lite has certain compilation problems for communication and execution with higher complexity routines.

**Keywords:** <MOTOR STIMULATION>, <THERAPHY >, <HUMANOID>, <ROBOT>, <ARTIFICIAL VISION>, <IMAGE ACQUISITION>, <ARM>, <ARCHITECTURE>, <PHYTON (SOFTWARE)>, <OPEN CV(SOFTWARE)>, <TENSORFLOW>

## INTRODUCCIÓN

En la actualidad la estimulación temprana tiene mucha importancia en los primeros años de vida de los niños y niñas, ya que, si no se les brinda los cuidados y la atención necesaria en su desarrollo intelectual y psicomotriz tendrá un efecto irreversible en ellos. La estimulación temprana produce grandes efectos positivos en el desarrollo de los niños en comparación con otros que no han tenido este tipo de terapias, puesto que presentan un mejor desarrollo físico, mental, conductual y emocional. (Barreno Salinas & Macias Alvarado, 2015)

Una de las características más importantes de la robótica educativa es la capacidad de atraer la atención de los niños y niñas. Hoy en día, este se ha convertido en un recurso que puede facilitar la enseñanza de niños y niñas en edad pre escolar debido a que su atención se enfoca en el robot, eliminando así las distracciones y la falta de concentración. (Sosa, 2006)

El robot Willow fue desarrollado en Ecuador con la finalidad realizar terapias que ayuden a niños que sufren de síndrome de Asperger y problemas de autismo. El prototipo se asemeja a un juguete, ya que puede reír, jugar, bailar y comunicarse en idiomas naturales, así como animados. Posee un dispositivo frontal que permite monitorear el progreso obtenido en los niños durante las sesiones con Willow. Este proyecto es considerado de innovación social y tecnológico ya que cumple con el objetivo de mejorar la integración sensorial, mejorar el comportamiento y disminuir las limitaciones de los niños al comunicarse e interactuar con los demás. (Martínez, 2017)

En Alcantud 2003, Cook y Hussey denominaron a la interacción entre robots y niños con capacidades especiales como “Tecnología de Ayuda”, cuyo objetivo es incrementar las capacidades de las personas que no han alcanzado el nivel de rendimiento promedio para su edad. Hoy en día, la terapia asistida por robots se ha convertido en realidad en muchos hospitales en España. Su aplicación es muy extensa y su eficacia en la rehabilitación de pacientes pediátricos es muy destacada. (Sigman & Capps, 2000).

Dentro de las investigaciones realizadas en el país acerca de robots humanoides tenemos, la empresa Clear Mind la cual creó a teebot, un robot capaz de ser armado y programado por niños motivando de esta manera el aprendizaje y estimulación de una manera divertida e innovadora (Alarcón, 2015). En la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo se han presentado cuatro trabajos de titulación en la Escuela de Ingeniería Electrónica, en Control y Redes Industriales los cuales están enfocados en robots de apoyo para niños. Dentro de estos tenemos: Trabajo 1 “Inteligencia artificial aplicada a robot asistencial para la interacción con niños en edad temprana”(Cayambe & Castañeda, 2016) desarrollado por Cayambe Diana y Castañeda Juan. Trabajo

2 “Interacción de un robot mini - humanoide tele operado como herramienta de apoyo para terapia de lenguaje en niños del Hospital General Docente de Riobamba”(Moncayo & Estrada, 2017) desarrollado por Moncayo Karen y Estrada Katherine. Trabajo 3 “Diseño y construcción de un robot interactivo y didáctico para la empresa IPREX”(Vaca & Villagómez, 2015) desarrollado por Vaca Isabel y Villagómez Leonela. Trabajo 4 “Implementación de técnicas de Visión Artificial en un robot humanoide para beneficio de niños con déficit de atención o hiperactividad a través de un ejercicio psicomotriz”(Rodríguez, 2018) desarrollado por Cristian Rodríguez.

## **FORMULACIÓN DEL PROBLEMA**

La utilización de robots humanoides en terapias asistidas para aprendizaje ha sufrido un gran avance a nivel científico en los últimos tiempos, teniendo en cuenta que el área en la que ha causado un mayor impacto es la medicina. Hoy en día no es extraño que haya juguetes que interactúan con los niños ayudándoles a desarrollar destrezas y a expresar emociones. Los avances de este tipo de robots en el área de salud y educación tienen la finalidad de mejorar el estilo de vida de las personas, entonces ¿Sería un robot humanoide con un sistema de visión artificial capaz de ayudar en el aprendizaje y estimulación motriz en niños de 3-5 años de edad?

## **SISTEMATIZACIÓN DEL PROBLEMA**

¿Conocer los diversos sistemas existentes y desarrollados aplicando técnicas de procesamiento digital de imágenes que empleen un robot humanoide?

¿Cuáles son los diferentes sistemas y técnicas de visión artificial óptimos para las aplicaciones que realiza el robot Willow\_VA?

¿Cuál es el algoritmo más efectivo para replicar movimientos para la terapia de aprendizaje y estimulación?

¿Cuál es el nivel de aceptación e interacción de niños con el robot Willow\_VA?

## **JUSTIFICACIÓN TEÓRICA**

La tecnología desarrollada para ayudar a personas que necesitan tratamientos asistenciales como terapias asistidas en nuestro país es escasa, esto se debe al alto costo que este tipo de tecnología requiere siendo así, inaccesible para personas con recursos económicos limitados. Sin embargo, las investigaciones han demostrado que las terapias realizadas con humanoides mejoran favorablemente la condición del paciente. Las terapias asistidas por humanoides ayudan a mejorar la comunicación del paciente con el resto de personas, garantizando un mayor aprendizaje de habilidades para identificar sujetos o diferenciar emociones. (Baron Cohen, 2009)

El propósito del proyecto es brindar a los profesionales en el área de desarrollo y educación, diseñando un sistema de visión artificial implementado en un robot humanoide capaz de recrear movimientos para la interacción con niños de 3 a 5 años de edad. De esta manera, se busca crear una herramienta colaboradora de bajo costo para la realización de rutinas de estimulación motriz para niños en etapa pre escolar.

## **JUSTIFICACIÓN APLICATIVA**

El sistema de visión artificial tendrá que verificar si los datos de entrada son de una persona la cual será evaluada con un cálculo de área o volumen, para evitar falsas lecturas y una incorrecta ejecución del sistema. En el momento que el sistema decide si es una persona ejecutará la parte de calibración de distancia mediante un sensor de proximidad, garantizando así la correcta lectura de datos por parte del sistema de control.

El sistema de visión artificial empezará a replicar los movimientos del profesor en el robot Willow\_VA siendo de esta manera aplicada en clases de estimulación motriz captando más el interés de los niños por ejecutar o replicar las acciones del robot.

El robot Willow\_VA tendrá en su nuevo diseño estructural 7 grados de libertad, ubicados en la región superior de la estructura, conformada por la cadera y brazos del robot, se considera dichos movimientos con la finalidad de garantizar la estabilidad del robot humanoide para no crear distracciones por posibles caídas de la estructura, mediante estos grados de libertad el prototipo podrá realizar 10 movimientos predefinidos.

## **OBJETIVOS**

### **Objetivo General**

Implementar un sistema de visión artificial sobre Willow para recrear movimientos que ayuden en el aprendizaje y estimulación motriz de niños de 3-5 años de edad.

### **Objetivos Específicos**

- Investigar los trabajos realizados que relacione procesamiento digital de imágenes con robots humanoides, y fundamentos teóricos necesarios para desarrollar un sistema de control visual.
- Identificar los elementos hardware y software que mejor se adapten al desarrollo de la aplicación.
- Diseñar un algoritmo que satisfaga las condiciones de diseño del robot Willow\_VA, de manera que sea capaz de recrear movimientos para mejorar el aprendizaje y estimulación de niños.
- Evaluar el sistema de visión artificial del robot Willow\_VA aplicado a la educación y estimulación de niños de 3-5 años de edad

## CAPITULO I

### 1 MARCO TEÓRICO REFERENCIAL

#### 1.1 Estimulación Temprana

##### *1.1.1 Concepto*

Estimulación temprana se define como una serie de actividades con base científica desarrolladas por medio de terapias que contribuyen al desarrollo del niño en etapa inicial. Según Macias y Barreno, "La estimulación en etapas iniciales proporciona al niño la capacidad de maximizar su potencial físico, psicológico, emocional y social". (Barreno Salinas & Macias Alvarado, 2015). La estimulación temprana previene retardo en el desarrollo psicomotor, siendo su práctica en niños con algún tipo de discapacidad muy beneficioso, ya que se ha comprobado que mejora el desarrollo del niño llevando a este a un mejor nivel de desarrollo para su edad (Barreno Salinas & Macias Alvarado, 2015)

##### *1.1.2 Áreas de estimulación*

El plan de estimulación temprana no puede ser arbitraria ya que afecta a una variedad de áreas de desarrollo. Es decir, es necesario la estimulación con la misma intensidad en todas las áreas de aprendizaje ya que esto influye directamente en el desarrollo del niño y las relaciones con el entorno (Regidor, 2015). Dentro de las áreas de desarrollo tenemos:

###### *1.1.2.1 Desarrollo sensorial*

Se enfoca en el desarrollo de los sentidos externos del niño, dentro de este desarrollo incluye estimulación visual, auditiva, táctil, gustativa y olfativo. (Regidor, 2015)

### *1.1.2.2 Desarrollo motriz*

Desarrollo motriz se denomina al conjunto de estimulaciones que mejoran la capacidad de movimiento de un individuo, ayudándole a obtener un mejor conocimiento del propio esquema corporal, una mejor motricidad gruesa, fina, coordinación y acciones expresivas (Regidor, 2015).

### *1.1.2.3 Desarrollo cognitivo*

Se enfoca con las capacidades directamente relacionadas con la inteligencia. Se centra en el razonamiento lógico, la creatividad, la orientación espacial, la atención selectiva, la observación, la memoria, el desarrollo afectivo y las habilidades sociales (Regidor, 2015).

### *1.1.2.4 Desarrollo del lenguaje*

Estimula la capacidad lingüística lo cual resulta de mucha importancia para un mejor desarrollo intelectual, se enfoca en la expresión oral, y la comprensión.

## **1.2 Estimulación Psicomotriz**

### ***1.2.1 Definición***

Etimológicamente la palabra psicomotriz proviene de las palabras “psico” que se refiere al pensamiento y “motricidad” que significa el movimiento y desarrollo motor. La estimulación psicomotriz es un conjunto de técnicas las cuales ayudan en el desarrollo general del individuo. Mediante este tipo de estimulaciones se produce interacciones entre el cuerpo y el entorno, es decir los componentes biológicos, cognoscitivos y psicosociales de la persona.(Barreno Salinas & Macias Alvarado, 2015)

## **1.2.2 Tipos de Psicomotricidad**

### **1.2.2.1 Motricidad Gruesa**

Es aquella que se refiere a la coordinación de movimientos que implican grandes grupos musculares, es decir, movimientos de muchas partes del cuerpo o todo el cuerpo en general. Estimular este aspecto, promete un mejor dominio de la marcha, del salto, de la carrera y de otras destrezas más evolucionadas. (Torres & Enrique, 2017)

### **1.2.2.2 Equilibrio postural:**

La realización de estimulaciones de equilibrio posturales hará que el niño tenga cada vez un mejor dominio sobre el control de su cuerpo ante la presencia de diferentes situaciones.

### **1.2.2.3 Motricidad fina:**

Es relativa a la coordinación de acciones que implica movimientos pequeños en diferentes partes del cuerpo, como los músculos de la cara, manos, pies; es decir que se usan simultáneamente durante cualquier actividad que el niño realice. El desarrollo de la motricidad fina en niños en etapas iniciales se considera beneficioso, ya que obtendrá ciertos dominios con las habilidades motoras mejorando su destreza manual. (Laban, 2006)

## **1.2.3 Ventajas de la estimulación motriz en niños**

La estimulación motriz favorece principalmente a:

- ✚ Los intercambios tónico emocionales los cuales favorecen la apertura al espacio exterior, la relación con los objetos y con los demás.
- ✚ La integración del sistema postural que permite el movimiento y control autónomo del cuerpo en espacios exteriores.
- ✚ El inicio del control que permite la anticipación del movimiento y la inhibición motora.

La motricidad conlleva la exigencia de un modo particular que los niños y niñas pueden expresar sus emociones, dificultades, temores por medio de expresiones corporales siendo esta indispensable para que puedan ser capaces de coordinar, controlar y expresar su motricidad voluntaria. (Morán Mendoza, 2017)

Esto se logra con un dominio total de la función tónica, es decir, controlando la postura, el equilibrio, la lateralidad, la organización, el espacio temporal y rítmico. De esta forma este tipo de terapias pasa a ser alternativas de rehabilitación.

### **1.3 Robótica**

#### ***1.3.1 Definición***

Robótica es la ciencia aplicada a la información la cual se encarga del diseño y construcción de dispositivos que realizan operaciones o tareas que suelen estar destinadas a aplicaciones industriales y de navegación. La finalidad de esta rama es promover el desarrollo del ser humano en diversos campos del trabajo y de la vida cotidiana. La robótica ha evolucionado de máquinas simples a prototipos con características similares a la de los seres humanos (Kumar Saha, 2000). Hoy en día se busca lograr la autonomía de un robot, por lo que las investigaciones se enfocan en el desarrollo de diversas tecnologías relacionadas con Visión Artificial.

El inicio de la robótica nace por la necesidad del ser humano de crear máquinas sofisticadas capaces de imitar el movimiento y el comportamiento físico de los seres vivos. El manejo de mecanismos se remonta a finales del siglo, los árabes fueron los primeros en desarrollar este tipo de máquina en los siglos VIII y XV. (Salazar García, 2018). Con el paso del tiempo, salen las máquinas autómatas, dentro de las más destacadas se puede mencionar el Gallo de Estrasburgo desarrollado en el año de 1352, el León mecánico desarrollado por Da Vinci en 1459 y el Stick Man desarrollado en 1525.

Tiempo después de la revolución industrial, se vio la necesidad de automatizar los procesos industriales respectivos, ya que de esta manera se volvía más eficiente el proceso de producción. En busca de mejoras muchas fábricas decidieron diseñar e implementar sistemas capaces de realizar tareas repetitivas sin supervisión humana, dando paso así a la aparición de los robots. En los años 40 surge la aparición de los primeros robots aplicados a diferentes procesos industriales.

### **1.4 Robot**

#### ***1.4.1 Definición***

Etimológicamente robot se deriva de la palabra checa *robota* que significa de “trabajo forzado”. (Torres Vargas, 2012)

Se denomina robot a un sistema electromecánico o maquina controlada por un ordenador el cual ejecuta una serie de pasos previamente programados para su movilidad, permitiéndole realizar trabajos y a la vez interactuar con su entorno. El objetivo principal de un robot es suplir al ser humano en tareas desagradables, difíciles e incluso peligrosas de una forma más rápida, segura y precisa. (Torres Vargas, 2012)

A partir de los años 40's los robots se han convertido en parte esencial de varios procesos automatizados gracias al advenimiento de los computadores personales. Un robot logra un mejor desempeño en la ejecución de tareas, ya que posee microcontroladores, sensores y actuadores capaces de ejecutar una serie de instrucciones que les faculta para realizar tareas específicas.

Un robot este compuesto por seis partes, las cuales se detallan a continuación:

- ✚ **Estructura mecánica**, esta dependerá de la aplicación para la que este destinado el robot.
- ✚ **Transmisión**, son un conjunto de sistemas mecánicos que ayudan al robot a cambiar de dirección.
- ✚ **Sistema de accionamiento**, este sistema está compuesto por actuadores los cuales funcionan con sensores para accionar el equipo que activa o genera el movimiento del manipulador.
- ✚ **Sistema de control**, este sistema es el más importante ya que de este depende el funcionamiento del robot, ejecuta las instrucciones necesarias para que el robot cumpla con la tarea asignada, controla la eficiencia del robot a partir de los valores obtenidos sensores, controla el funcionamiento del sistema de accionamiento.
- ✚ **Elementos terminales**, como se mencionó antes estos elementos varían según la aplicación del robot, el objetivo de los elementos terminales es ayudar a ejecutar las tareas asignadas al robot. Dentro de estos elementos tenemos alarmas, ventosas, pinzas etc.

#### **1.4.2 Clasificación de los robots**

La clasificación de los robots es muy amplia, a continuación, se detallan los principales:

- ✚ **Robots móviles**: en esta clasificación existen diferentes tipos. Terrestres los cuales poseen ruedas o patas, submarinos, aéreos y espaciales.
- ✚ **Humanoides**: Este tipo de robots son similares a la forma del cuerpo humano, de esta manera pueden realizar movimientos semejantes a los de una persona.

- ✚ Industriales: Dentro de este tipo de robots tenemos brazos robóticos, robots manipuladores los cuales permite realizar trabajos repetitivos.

## 1.5 Robots Humanoides

La característica principal de este tipo de robots es su gran similitud con la morfología humana, es decir principalmente están compuestos de una cabeza, un torso, extremidades superiores e inferiores. Aunque no todos los robots humanoides tienen esta forma, algunos solo pueden incluir parte del cuerpo humano. Uno de los tantos objetivos de los humanoides es la interacción entre el ser humano y el robot mediante diversas funciones implementadas en el robot, como el reconocimiento facial, el movimiento articular, la síntesis de voz, la interfaz de la pantalla en el cuerpo, la expresión de emociones a través de luces o movimiento, la síntesis de voz a través del altavoz, y otras funciones integradas hoy en día. (Calvopiña & Valladares, 2017)

Basado en la investigación del movimiento bípedo del robot E0 en 1986, ASIMO es uno de los primeros robots humanoides desarrollado por Honda. Gracias a su tecnología i-WALK, el robot puede predecir su próximo paso en tiempo real y puede cambiar su centro de gravedad para evitar posibles caídas como se muestra en la Figura 1-1.



**Figura 1-1:** Robot Humanoide  
Realizado por: (Salazar García, 2018)

### 1.5.1 Clasificación de los robots

Por su morfología los robots se dividen en dos grupos:

- ✚ Semi Humanoides: aquellos que se desplazan mediante el uso de ruedas.
- ✚ Humanoides: Este tipo de robots se clasifican por su tamaño.

### 1.5.1.1 ASIMO

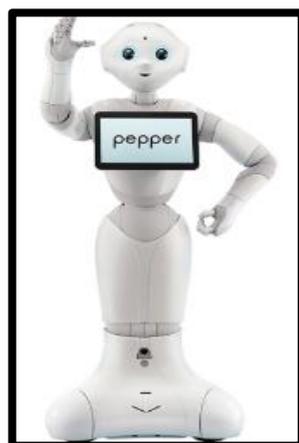
Como se muestra en la figura 2-1 este humanoide usa una locomoción bípeda y tiene la capacidad de tomar decisiones, el objetivo principal de la empresa Honda con ASIMO fue la interacción Robot-Humano, ASIMO es ideal en el desenvolvimiento con niños ya que puede ser considerado como una juguete por si funcionalidad.(Calvopiña & Valladares, 2017).



**Figura 2-1:** Robot Asimo  
Realizado por: Andrade L, Vallejo D,  
2020

### 1.5.1.2 Robot Pepper

Entre sus principales características es capaz de identificar qué estado de ánimo posee una persona, su estatura de 120cm, su peso de 28kg, sus 3 ruedas con las cuales puede alcanzar una velocidad de 3km/h (Calvopiña & Valladares, 2017). Este prototipo se lanzó al mercado en el año 2015 por SoftBank Robotics. En la Figura 3-1 se puede observar el robot



**Figura 3-1:** Robot  
Pepper  
Realizado por: (Sosa, 2006)

### 1.5.1.3 Robot Romeo:

Este prototipo tiene como objetivo proporcionar asistencia en los hogares, dentro de sus características se pueden mencionar que su estatura es de 146cm, posee una locomoción bípeda y su cuerpo es muy resistente como se muestra en la Figura 4-1.



**Figura 4-1:** Robot Romeo  
Realizado por: (Rodríguez, 2018)

### 1.5.2 Características de los robots Humanoides

Existen dos puntos de vista que definen las características de un robot humanoide:

- ✚ Se considera que un robot es humanoide si posee con una estructura semejante a la fisonomía del ser humano, es decir debe poseer extremidades superiores, extremidades inferiores, torso y cabeza.
- ✚ Un robot es humanoide si este imita el actuar del ser humano. Es decir, debe ser capaz de cumplir con tareas efectuadas por el ser humano. En sí lo que determina si un robot es de tipo humanoide es la funcionalidad que este tiene, mas no la apariencia física que posee.

Una de las funcionalidades mencionadas en el segundo punto es la locomoción bípeda. Es decir, si el robot bípedo imita correctamente el movimiento o también llamada la locomoción del humano, este puede considerarse como un robot humanoide. Se debe tener en cuenta que un robot humanoide puede tener funcionalidades diferentes a la locomoción lo que no significa que este no cumple con las características de un humanoide.

### ***1.5.3 Impacto de la utilización de robots humanoides en el aprendizaje de niños***

Hoy en día se aplica este tipo de robots autómatas en diferentes áreas. Existen varias investigaciones que se enfocan en el desarrollo de terapias en niños por medio de robots, estos estudios se dan principalmente por la similitud que estos tienen con los juguetes. Al interactuar con los niños, el robot puede seguir un determinado programa de juego y operar de acuerdo con situaciones inesperadas encontradas en el entorno. Los robots también pueden aprender con el tiempo y cambiar la forma en que reaccionan al mundo, lo que resulta en interacciones más complejas ante situaciones impredecibles, capaces de ayudar a captar y mantener el interés del niño. Este rendimiento permite que los juguetes robóticos evolucionados de máquinas simples a sistemas con comportamientos más complejos. (Cruz Ardila & Salazar, 2014)

La tecnología se ha convertido en un factor externo que puede influir en las opiniones, actitudes y comportamientos de las personas, en particular la forma física y el comportamiento que muestran aspectos del estilo humano. Es probable que la inteligencia social cambie la forma de enseñar a los seres humanos que tienen dificultades en la comprensión y la demostración de un comportamiento social. Día a día se van desarrollando plataformas y robots más complejos destinados a la interacción con niños por medio de juegos, estos sistemas tienen la finalidad de desarrollar terapias de rehabilitación o de aprendizaje. (Mearin et al., 2009)

### **1.6 Robot Humanoide Willow**

El robot terapéutico ecuatoriano Willow fue denominado así en homenaje a un científico dedicado a tratar el autismo. El objetivo del robot es ayudar a niños con problemas de autismo y síndrome de asperger. El equipo de desarrolladores de Willos obtuvo el primer lugar en el concurso de emprendimiento e innovación social Hult Prize Ecuador de entre 35 universidades públicas y privadas del país, posteriormente representaron al Ecuador en el Hult Prize-Dubái 2017 la competencia de innovación social más importante del mundo, actualmente conocida como el “Premio Nobel de los jóvenes” (El Universo, 2015).



**Figura 5-1: Robot Willow**  
Fuente: (El Universo, 2015)

Willow mide aproximadamente cerca de 45cm de altura. Está diseñado y construido con materiales poliméricos naturales extraídos del almidón de maíz. Su funcionamiento se basa en la tecnología móvil del teléfono inteligente CIRO C1, marca que apoya el proyecto de Willow en Ecuador, aportando un papel importante en el desarrollo del proyecto por su amplia experiencia en emprendimiento tecnológico e innovación social.(Martínez, 2017)



**Figura 6-1:** Aplicación Robot Willow  
Realizado por: Andrade L, Vallejo D, 2020

El robot es un juguete amigable. Puede reír, bailar, caminar, jugar, agarrar objetos y comunicarse con los niños en lenguaje natural y lenguaje de animación. La cámara frontal puede monitorear la terapia con Willow desde cualquier lugar de la habitación. En todo el mundo, también puede utilizar otro teléfono inteligente que actúa como control remoto para operarlo de una manera simple e intuitiva. En este gran proyecto de innovación social y tecnológica, los ecuatorianos buscan con orgullo mejorar las limitaciones de la integración sensorial, el comportamiento, la interacción social y la comunicación en los niños de todo el. (Martínez, 2017)

## 1.7 Visión Artificial

### 1.7.1 Definición

Visión artificial es el campo de la tecnología mediante el cual se pretende emular el sentido de la vista de un ser humano, con el fin de desarrollar sistemas capaces de tomar decisiones dependiendo de la información extraída de imágenes tomadas de un ambiente.

En el campo de la visión artificial el uso de cámaras o cualquier otro dispositivo de adquisición de imagen reemplaza a la vista humana, una vez adquirida la imagen esta pasa a la etapa de procesamiento donde se extraen por medio de segmentación las características a estudio. Posteriormente el sistema analiza las características extraídas y procede a tomar decisiones con respecto a estas.

El objetivo principal de la visión artificial es permitir que las máquinas vean lo que está sucediendo en el mundo real, para que puedan tomar decisiones que automaticen cualquier proceso. Es decir, este tipo de sistemas son autónomos ya que pueden realizar actividades similares a la visión humana. Puede realizar actividades como la detección de objetos e incluso la interpretación tridimensional del entorno. (Rojas & Silva, 2017).

### ***1.7.2 Etapas de un sistema de visión artificial***

Los sistemas de visión artificial poseen algoritmos en los que constan varios procesos, los cuales ayudan a que el sistema cometa el mínimo número de errores. A continuación, se detalla las etapas del sistema de visión artificial:

- ✚ **Adquisición de imagen:** es el proceso que nos lleva a la obtención de una imagen mediante cámaras o tarjetas de adquisición de imágenes.
- ✚ **Preprocesamiento:** en esta etapa se reduce características no deseadas en la imagen como el ruido y se realzan características importantes que permitan realizar de una mejor manera la siguiente etapa de segmentación.
- ✚ **Segmentación:** en esta etapa se ayuda a que el sistema diferencie de mejor manera en la imagen los objetos a análisis.
- ✚ **Representación y descripción:** en esta etapa se extraen características que nos permitan identificar un objeto de otro. Las características son basadas en la textura, forma, color, área, perímetro, entre otros.
- ✚ **Reconocimiento e interpretación:** en esta etapa se identifican los objetos y se les asigna un significado.

### ***1.7.3 Componentes para el Procesamiento Digital de Imágenes***

Para tener un eficiente sistema de visión artificial es necesario contar con varios tipos de dispositivos que complementen al sistema, de esta manera se garantiza la eficiencia del sistema. Entre los componentes más utilizados tenemos.

#### ***1.7.3.1 Fuente de Luz***

Este dispositivo es el encargado de iluminar la escena a visualizar, siendo muy importante ya que mejora la resolución de la adquisición de imagen destacando los rasgos característicos de una

escena o de un objeto. Es decir, dependiendo de la cantidad de luz emitida se deberá calibrar el fondo y la posición de la cámara para captar una buena escena. Al no poseer una buena iluminación se corre el riesgo de provocar falsos positivos ya que los colores varían según la iluminación. En visión artificial el tipo de iluminación a aplicar depende netamente de la necesidad y las condiciones externas, hay varios tipos de dispositivos de iluminación de fácil obtención en el mercado

#### *1.7.3.2 Cámara*

La cámara se asemeja al ojo humano, en un sistema de visión artificial tiene el objetivo de captar y capturar la escena para el posterior análisis. (Fernández y Quinatoa, 2017).

#### *1.7.3.3 Tarjeta de adquisición*

La tarjeta de adquisición es la encargada de transportar la imagen por la cámara hacia el módulo de proceso o computador.(García, 2008)

Este componente posee algunos aspectos importantes que son de gran utilidad para un procesamiento de imagen óptimo, como la velocidad de transmisión, la resolución de pixeles. Estos parámetros garantizan que en la transferencia se conserve las características reales de la imagen capturada.(Rojas & Silva, 2017)

#### *1.7.3.4 Módulo de Proceso*

Es el encargado de recibir y procesar un análisis en la imagen. Una adecuada selección de este módulo garantiza que el sistema de visión artificial cumpla adecuadamente con su funcionamiento, la elección de este componente dependerá netamente de la funcionalidad que se le vaya a dar. En el presente trabajo se utilizó como módulo de proceso a la tarjeta de desarrollo raspberry pi4 .(Rojas & Silva, 2017)

#### *1.7.3.5 Sistema de respuesta en tiempo real*

Este sistema reacciona ante la información recibida, es decir es el encargado de ejecutar las acciones de respuesta que emite el sistema de visión artificial ante el entorno (Rojas & Silva, 2017)

#### ***1.7.4 Algoritmos de Visión Artificial***

A continuación, se presenta la descripción de algoritmos de precisión que se han desarrollado con el fin de detectar eficientemente la fisonomía humana, de esta manera se analiza como la arquitectura de aprendizaje profunda funciona en el campo de visión artificial.

##### ***1.7.4.1 Histogramas de gradientes orientadas (HOG-MO)***

HOG-MO o Histograma de gradientes orientadas con múltiples orientaciones es un método utilizado para la detección de personas. Fueron desarrolladas por Davneet Dalal y Bill Triggs en el 2005, desde su propuesta el descriptor HOG-MO ha sido ampliamente utilizado. Esta técnica superó considerablemente los algoritmos existentes ya que la técnica consiste en tomar histogramas de orientación de intensidad de borde en una región local, calculando los gradientes vertical y horizontal para construir la matriz de orientación y amplitud. Posteriormente divide la imagen en 64x128 píxeles en bloques. Un bloque consta de 2x2 celdas y una celda de 8x8 píxeles. Luego, se construye un histograma discretizando la orientación de cada celda y acumulando la amplitud, para concluir forma un vector de características conectando los histogramas de los bloques.(Flores et al., 2015).

##### ***1.7.4.2 Algoritmos de aprendizaje profundo***

Los algoritmos de aprendizaje profundo también conocidos como redes neuronales convolucionales hoy en día son uno de los más utilizados en el procesamiento de imágenes. En la etapa de procesamiento por lo general hay una imagen con un solo objeto como foco y la tarea es determinar que es esa imagen. Al observar el mundo que nos rodea se observa vistas complicadas con múltiples objetos superpuestos y diferentes fondos, el objetivo de este tipo de algoritmos es clasificar estos objetos identificando sus límites, diferencias y las relaciones entre sí

#### ***1.7.5 Aplicaciones de Visión Artificial***

La visión artificial va ganando campos de aplicación día tras día, esto debido a su eficiencia y flexibilidad para adaptarse a cualquier área de trabajo es así en la actualidad se la viene combinando con otras áreas de la tecnología como domótica, inmédica, drones, robots, etc.

La amplia gama de aplicaciones que cubre esta tecnología se debe a que permite la extracción y análisis de información espectral, espacial y temporal de diferentes objetos. La información espectral incluye frecuencia e intensidad. La información espacial se refiere a aspectos como la forma y la ubicación. La información de tiempo incluye aspectos fijos y relacionados con el tiempo.(García, 2008)

A continuación, se mencionará algunas aplicaciones de sistemas de visión artificial:

#### *1.7.5.1 Medición o calibración:*

Mediante visión artificial es posible obtener características de un determinado objeto como su área, longitud, espesor, etc. Esto se aplica para asegurar que un determinado objeto tenga las medidas especificadas en su etapa de diseño, eliminando la necesidad de tener una persona realizando las mediciones manualmente.

#### *1.7.5.2 Detección de fallas*

Esta aplicación es muy utilizada en la industria, se emplea en supervisión de productos terminados, ya que detecta las fallas que se pueden pasar desapercibidas por el ojo humano, de esta manera se garantiza un producto de calidad.

#### *1.7.5.3 Verificación*

Enfocado también a productos terminados de la industria o productos agrícolas de manera de asegurar a los consumidores un producto en excelentes condiciones. En la actualidad esta aplicación se emplea principalmente en la verificación de los sembríos agrícolas, ya que minimiza pérdidas a causa de plagas u otros factores.

#### *1.7.5.4 Reconocimiento:*

Principalmente orientado a reconocer personas de acuerdo a sus rasgos característicos u objetos de acuerdo a sus formas geométricas específicas, es muy utilizado en sistemas de seguridad o bandas clasificadoras de productos.

#### 1.7.5.5 Identificación:

Se puede identificar objetos de acuerdo a un símbolo, un color o cualquier otra característica por ejemplo reconocer un producto de acuerdo a su código de barra.

#### 1.7.5.6 Análisis de localización

Es posible mediante visión artificial poder obtener la posición exacta de un objeto o una persona en un ambiente específico. Por ejemplo, obtener la posición de un robot pez en un acuario controlado.

#### 1.7.6 Técnica de Visión artificial de Estimación de Pose (PoseNet)

La estimación de pose se trata de una técnica capaz de detectar figuras humanas en imágenes y videos, de tal manera que se pueda determinar las ubicaciones de las articulaciones de una persona. Estos modelos generan una estimación de las articulaciones del cuerpo humano (obsérvese figura 7-1) y sus ubicaciones denominadas como puntos clave.(Nanonets, 2019)



**Figura 7-1:** Técnica de estimación de pose  
**Fuente:** (Nanonets, 2019)

En la actualidad, existen distintos modelos capaces de efectuar esta tarea de estimación de pose tales como: redes neuronales profundas, redes convolucionales, retroalimentación del error interactiva, entre otras. Para aclarar el principio de funcionamiento de este método, se debe señalar claramente que el modelo no puede reconocer a la persona en la imagen, pero el algoritmo estima la posición de las articulaciones humanas.

### *1.7.6.1 Funcionamiento del modelo PoseNet*

Este modelo proporciona una interfaz que toma una imagen y devuelve información de la ubicación de los puntos clave del cuerpo humano. Esta funcionalidad la proporciona un método que ejecuta el intérprete “Tensorflow Lite”.(Nanonets, 2019)

PoseNet ubica las partes claves del cuerpo con puntuaciones de confianza asociadas. El puntaje de confianza de una persona es el promedio de los puntos de confianza de cada punto clave, lo que indica la probabilidad de que exista un punto clave en esa posición.

Cada punto contiene información acerca de la posición de ciertas partes del cuerpo y el puntaje de confianza de ese punto clave. Una vez definido el punto clave el modelo pasa a la salida donde determina cuanto se está reduciendo en relación a la imagen de entrada. Cuanto mayor sea el paso de la salida menor será la resolución de las capas en la red y en consecuencia afectará su precisión.

## **1.8 Software**

Al igual que para el desarrollo de otro tipo de campos en la aplicación de visión artificial se requiere de la utilización de lenguajes de programación con amplias librerías que permitan tratar con imágenes. A continuación, se detalla la descripción general del lenguaje de programación Python y librerías externas con las cuales se pueden aplicar técnicas de visión artificial a una imagen adquirida.

### **1.8.1 Matlab**

Matlab es un software que brinda la facilidad de realizar calculo numérico y simbólico, de forma sencilla, posee también características graficas avanzadas útiles para el desarrollo de proyectos de ingeniería.(MathWorks, 2020).

Matlab es un software muy fácil de usar y se actualiza constantemente. Es adecuado para Macintosh, Windows, Linux, Unix y otros sistemas operativos. Una ventaja muy obvia es que es compatible con casi todas las tarjetas controladas. Cuenta con herramientas de trabajo también llamadas “toolbox”, las cuales pueden realizar las actividades necesarias para desarrollar cualquier tipo de proyecto. (MathWorks, 2020).

Posee “tolboxes” los cuales son funcionalidades que pueden adicionarse mediante la instalación de paquetes creados por Mathworks. Entre estos podemos encontrar: visión por computadora,

adquisición de datos, redes neuronales, robótica, procesamiento de imágenes.(MathWorks, 2020)

### **1.8.2 Python**

Python es un lenguaje de programación orientado a objetos, interactivo y explicativo de alto rendimiento que, en comparación con Visual Basic, Visual Fox y Java, es más intuitivo. Combina funciones potentes y una sintaxis clara, con clases, módulos, tipos de variables dinámicas avanzadas y tipos dinámicos. Hay interfaces para bibliotecas del sistema y varios sistemas de ventanas. Los últimos módulos se digitan fácilmente en C o C++ u otros lenguajes según la implementación.(Python TM, 2020).

### **1.8.3 Open CV**

Open CV es una biblioteca abierta para fines académicos y comerciales. Fue construida para brindar una estructura común para aplicaciones de visión artificial por computador. Tiene una gran cantidad de algoritmos optimizados, incluido un resumen completo de algoritmos de aprendizaje y visión por computadora básicos y complejos los cuales se utilizan para la detección de objetos. Open CV es ampliamente utilizado en la industria, campos de investigación, e instituciones nacionales. Posee interfaces en C++, Java, Matlab y Python y es compatible con la mayoría de sistemas operativos como Windows, Mac Os, Android y Linux.(OpenCV, 2020)

Grandes empresas establecidas en el ámbito tecnológico como Google, Intel, Honda, Toyota, etc. Han hecho uso de esta librería, a continuación, se detalla aplicaciones donde se emplea este software.

- ✚ Detección de objetos o personas a través de videos en tiempo real.
- ✚ Detección de características vehiculares.
- ✚ Aplicaciones robotizadas.
- ✚ Detección de accidentes de personas discapacitadas en piscinas.
- ✚ Control de procesos Industriales.

### 1.8.4 Ubuntu Mate

Durante el proceso de instalación se prepara una tarjeta de memoria microSD de nivel 6 o superior y se instala su imagen en ella, la imagen es la misma que otros sistemas operativos instalables de raspberry. Una vez que se instala la imagen el sistema operativo, se puede observar la pantalla de bienvenida; tal como se ilustra en la figura 8-1.



**Figura 8-1:** Inicio de Ubuntu Mate para raspberry

Fuente: [tps://goo.gl/KOfDIP](https://goo.gl/KOfDIP)

## 1.9 Tarjeta de Desarrollo

A continuación, se detalla la descripción general de las tarjetas de desarrollo más utilizadas en el mercado.

### 1.9.1 Raspberry Pi 4

Raspberry Pi 4 es una tarjeta de desarrollo de propósito general desarrollada por la fundación Raspberry, este dispositivo es netamente portátil. La política de la fundación es promover el uso de dichas tecnologías por lo que las tarjetas de desarrollo son de bajo costo. Actualmente esta tecnología se utiliza en varios proyectos de investigación. (Raspberrypi.org, 2019)



**Figura 9-1:** Raspberry Pi 4

Fuente: (Raspberrypi.org, 2019)

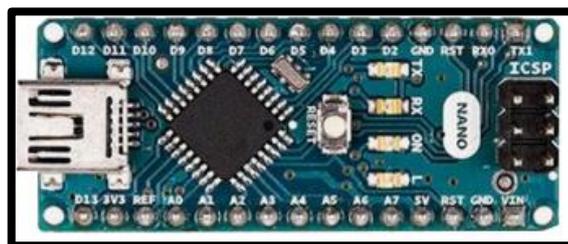
La placa Raspberry Pi4 cuenta con accesorios que nos otorgan una mejor experiencia al usar como computador personal o en cualquier proyecto educativo(Raspberry.org, 2019). A continuación, se enlistan algunas características.

- ✚ Módulo de cámara: Sensor de imagen OmniVision, captura imágenes de 5Mpx y video de 1080p/(30fps); la velocidad de fotogramas es de 720p/(60fps).
- ✚ Fuente de energía: 5V DC.
- ✚ Tarjeta de Memoria: Aquí se instala el sistema operativo que sirve de plataforma en la placa raspberry.
- ✚ Cable HDMI-VGA: Transforma la señal de la placa raspberry a VGA para así poder obtener un entorno grafico del sistema operativo.
- ✚ Adaptador WIFI USB: Mediante este adaptador se podrá acceder a internet sin necesidad de un cable de red.

### 1.9.2 Arduino

Es una placa para prototipos electrónicos de código abierto, este software y hardware es flexible y fácil al momento de usarlo. Gracias a su entorno se logra la recepción de entradas para poder utilizar estas variables de la mejor manera por parte del usuario, estas variables pueden afectar el estado de diversos dispositivos de salida activándolos o desactivándolos según la necesidad del usuario.

Las principales características de esta tarjeta son: Fácil accesibilidad, es multiplataforma, entorno de programación simple y claro, código abierto y software extensible (Arduino.cl, 2020). En la figura 10-1 se observa el modelo de Arduino nano.



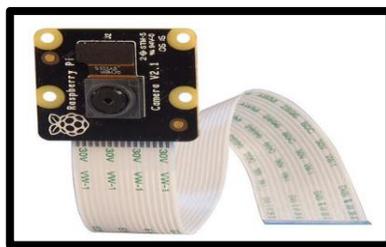
**Figura 10-1:** Arduino Nano

Fuente: (Arduino.cl, 2020)

## 1.10 Dispositivo de captura

### 1.10.1 Módulo de cámara para Raspberry

Tiene un sensor de imagen de 8 megapíxeles que proporciona una alta calidad de imagen, lo que la convierte en una herramienta ideal para capturar imágenes en condiciones de poca luz. Es compatible con el modelo A, B y B+ de Raspberry Pi. El módulo de la cámara puede reducir la contaminación de la imagen, como el ruido de patrón fijo y las manchas. En la figura 11-1 se observa la cámara Pi donde se puede apreciar que su tamaño es similar a una moneda. (Raspberrypi.org, 2019)



**Figura 11-1:** Cámara Pi noir V2  
Fuente: (Raspberrypi.org, 2019)

El módulo de cámara Pi noir V2 es un accesorio de diseño personalizado para el procesador del mismo nombre. Esta se adhiere por medio de tomas en la superficie de la placa. Utiliza la interfaz CSI, que está diseñada específicamente para interactuar con la cámara. El bus CSI puede enviar datos a velocidades extremadamente altas y solo en forma de píxeles. El módulo mide alrededor de 25mm x 20mm x 9mm, posee un peso de 3g, posee un enlace de mayor ancho de banda donde transporta datos de píxeles de la cámara al procesador.

## 1.11 Componentes Electrónicos

### 1.11.1 Servomotor sg90

El servomotor SG90 puede ser uno de los servomotores más utilizados, que se puede utilizar en varios proyectos robóticos. Es muy pequeño, pero aun así ofrece la no despreciable fuerza de 1.8kg/cm, así que es válido para todo tipo de robots bípedos o para desplazar diversas piezas motrices (ElectronicsCaldas.ec, 2018).



**Figura 12-1:** Servomotor SG-90  
**Fuente:** (Raspberrypi.org, 2019)

El servomotor sg90 presentado en la figura 12-1 posee las siguientes características (observe la tabla 1-1).

**Tabla 1-1:** Características técnicas de Servomotor sg90

<b>Voltaje de operación</b>	4.0 a 7.2V
<b>Velocidad de operación</b>	0.1s/60°
<b>Torque detenido</b>	1.8kgf *cm
<b>Rango de rotación</b>	180° aprox
<b>Peso Ligero</b>	9g
<b>Dimensiones</b>	Largo 22.2 mm Ancho 11.8 mm Alto 31mm

**Fuente:** (ElectronicsCaldas.ec, 2018)  
**Realizado por:** Andrade L, Vallejo D, 2020

### **1.11.2 Servomotor Hitec HS-311**

El servomotor Hitec HS-311 el cual se observa en la figura 13-1 proporciona todo el rendimiento y la confiabilidad para proyectos de robótica, es uno de los servomotores más utilizados debido a su excelente calidad. En la tabla 2-1 se detalla las características de este dispositivo.



**Figura 13-1:** Servomotor Hitec HS-311  
**Realizado por:** Andrade L, Vallejo D, 2020

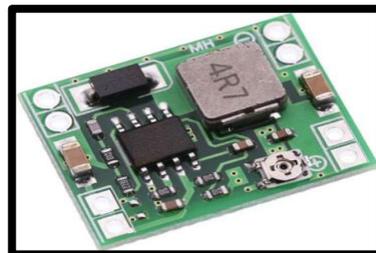
**Tabla 2-1:** Características técnicas de Servomotor Hitec

<b>Modulación</b>	Analógica
<b>Torque: 4.8V</b>	3.02kg-cm
<b>6.0V</b>	3.53 kg-cm
<b>Rango de rotación</b>	180° aprox
<b>Peso Ligero</b>	42.8 g
<b>Dimensiones</b>	Largo 39.9 mm Ancho 19.8 mm Alto 36.3mm
<b>Tipo de conector</b>	Universal

**Fuente:** (ElectronicsCaldas.ec, 2018)  
**Realizado por:** Andrade L, Vallejo D, 2020

### 1.11.3 Regulador Step-Down MP1584

El regulador step-down o Buck MP1584 el cual se observa en la figura 14-1 es un dispositivo electrónico de conmutación descendente de alta frecuencia, que permite convertir voltajes de “DC” a “DC” con una excelente eficiencia de conversión y con bajos voltajes de rizado. Las características de este dispositivo se observan en la tabla 3-1.



**Figura 14-1:** Regulador Step-Down mp1584  
**Realizado por:** Andrade L, Vallejo D, 2020

**Tabla 3-1:** Características técnicas de regulador step-down MP1584

<b>Voltaje de entrada</b>	4.5 – 28V DC
<b>Voltaje de Salida</b>	0.8 - 20V DC
<b>Corriente peak</b>	3 <sup>a</sup>
<b>Voltaje de rizado</b>	±30mV
<b>Frecuencia de conmutación</b>	100KHz – 1.5MHz
<b>Eficiencia</b>	96%
<b>Temperatura de funcionamiento</b>	-40°C a 85°C

Fuente:(ElectronicCMD, n.d.)

Realizado por: Andrade L, Vallejo D, 2020

#### 1.11.4 Batería Lipo Nano-tech 2s, 7.4V, 1500mAh

Este tipo de baterías están diseñadas específicamente para drones y usos robóticos. Estas baterías (observese figura 15-1) están hechas de polímero de litio de alta calidad, ofrecen gran potencia, la velocidad de descarga de 50 le otorga suficiente potencia para una buena aceleración. Las características de esta batería se las observa en la tabla 4-1.



**Figura 15-1:** Batería Lipo

Realizado por: Andrade L, Vallejo D, 2020

**Tabla 4-1:** Características técnicas de Batería Lipo Nano-tech

<b>Capacidad</b>	1500mAh
<b>Voltaje</b>	2s1p/2 / 7.4V
<b>Descarga</b>	25C constante/50c Burst
<b>Peso</b>	86g
<b>Dimensiones</b>	87x33x15 mm

Fuente:(ElectronicCMD, n.d.)

Realizado por: Andrade L, Vallejo D, 2020

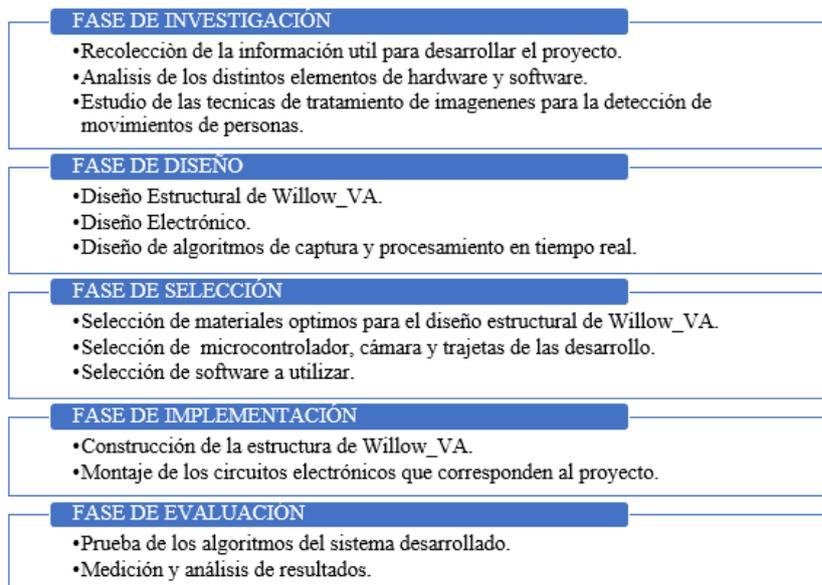
## CAPITULO II

### 2 PROPUESTA Y DISEÑO DE PROTOTIPO

En el siguiente capítulo se describe el desarrollo metodológico de la implementación de un sistema de visión artificial sobre Willow para recrear movimientos que ayuden en el aprendizaje y estimulación motriz de niños de 3-5 años de edad, el cual tiene como objetivo principal ser una herramienta que colabore con el docente en el proceso de aprendizaje y estimulación motriz de niños de 3-5 años de edad. Además, se detalla la metodología de investigación tanto científica como tecnológica utilizada que permite cumplir con el ciclo de vida del proyecto de ingeniería y sus objetivos.

La metodología HOG-MO (Histograma de gradientes orientadas con múltiples orientaciones) es un método de segmentación que basa su estudio en la detección de personas mediante histogramas de orientación de intensidad de borde, los cuales detectan regiones locales y calcula los gradientes vertical y horizontal para construir la matriz de orientación y amplitud de los bloques.

La metodología de investigación para la Implementación de un Sistema de Visión Artificial sobre Willow para recrear movimientos que ayuden en el aprendizaje y estimulación motriz de niños de 3-5 años de edad se detalla a continuación en la figura 1-2:



**Figura 1-2:** Etapas de desarrollo del proyecto

Realizado por: Andrade L, Vallejo D, 2020

Para la etapa de investigación se utiliza el método descriptivo y exploratorio el cual permitirá definir estudios realizados que relacionan el procesamiento digital de imágenes con robots humanoides. La metodología descriptiva, exploratoria y no-experimental se aplica en la etapa de selección en dicha etapa se determinará el hardware y software necesario tanto para el prototipo del Robot Humanoide Willow como para el sistema de Visión Artificial.

Para la etapa de diseño se utilizará el método aplicativo y experimental con el fin de recrear movimientos para mejorar el aprendizaje y estimulación de niños por medio de algoritmos de aprendizaje hasta lograr una detección eficaz. Finalmente utilizando el método de evaluación se procede a la etapa de evaluación en la cual se validará la eficiencia del sistema de visión artificial del robot Willow\_VA al momento de replicar los movimientos detectados de la persona.

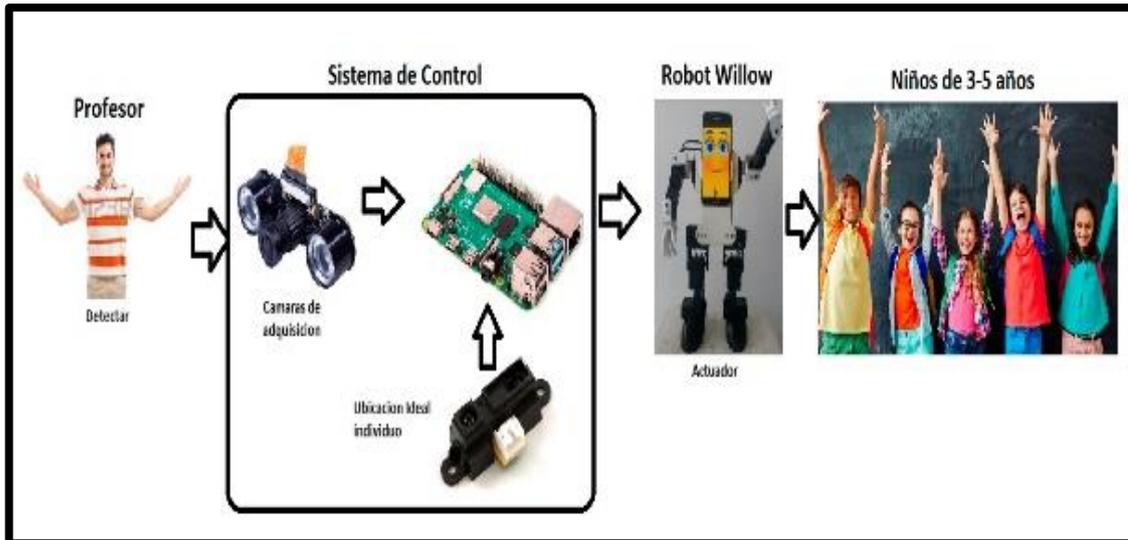
La presente investigación se implementa bajo una metodología de las ciencias básicas y transversal, cumpliendo con el ciclo de vida de desarrollo de un proyecto de ingeniería.

## **2.1 Fase de Investigación**

### ***2.1.1 Concepción general de la arquitectura del sistema***

La concepción general de la arquitectura del sistema se observa en la figura 2-2, el sistema consta de una tarjeta de desarrollo la cual tendrá que verificar si los datos de entrada obtenidos de un dispositivo de captura son los de una persona. Para ello la información obtenida pasará a la etapa de procesamiento de imagen en donde será evaluada con un cálculo de área o volumen, para evitar falsas lecturas y una incorrecta ejecución del sistema. Al momento que el sistema decide si es una persona ejecutará la parte de calibración de distancia mediante un sensor de proximidad garantizando así la correcta lectura de datos por parte del sistema de control.

El sistema de visión artificial empezará a replicar los movimientos del profesor en el robot Willow\_VA con ayuda de una prenda conformada con franjas de diversos colores, los mismos que permitirán tener una mejor distinción de los movimientos del individuo a cargo del grupo de niños. El robot Willow\_VA tendrá en su nuevo diseño estructural 7 grados de libertad, ubicados en la región superior de la estructura, conformada por la cadera y brazos del robot, se consideran dichos movimientos con la finalidad de garantizar la estabilidad del robot humanoide para no crear distracciones por posibles caídas de la estructura, mediante estos grados libertad el prototipo podrá realizar 10 movimientos predefinidos.



**Figura 2-2:** Concepción General de la Arquitectura del sistema  
 Realizado por: Andrade L, Vallejo D, 2020

### 2.1.2 *Requerimiento del Prototipo Willow\_VA*

Para este ítem se realizó una investigación previa la cual se puede apreciar en el capítulo 1, de esta investigación se determinó los requerimientos claves de hardware como software que se necesita para cumplir con el propósito de Willow\_VA. En esta sección se enlistará las necesidades requeridas por el sistema a implementar:

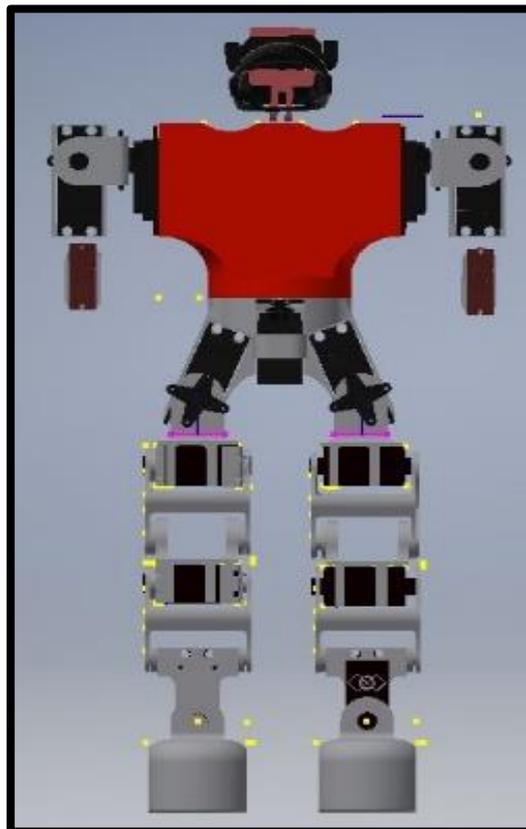
- ✚ Seleccionar una tarjeta de desarrollo que sea capaz de cumplir con los requerimientos necesarios
- ✚ Seleccionar un dispositivo de captura de imagen en tiempo real que cuente con una buena resolución.
- ✚ Implementar el robot humanoide Willow\_VA de tal forma que este pueda realizar los movimientos definidos sin perder estabilidad
- ✚ Ubicación precisa de la cámara para obtener una adecuada captura de la imagen
- ✚ Calibrar el sistema de adquisición de datos para poder disminuir errores por falsos positivos en la recepción de imagen.
- ✚ Se requiere adecuada iluminación para evitar malas capturas de las imágenes.
- ✚ Selección del lenguaje de programación del sistema de visión Artificial.
- ✚ Programación de rutinas establecidas para la interacción con los niños

## 2.2 Fase de Diseño

### 2.2.1 Diseño estructural de Willow\_VA

Para el diseño estructural del prototipo se eligió la forma de un robot humanoide con el fin de no perder la esencia de la versión original de Willow. El diseño del prototipo Willow\_VA fue realizado en el software inventor, en la tapa de diseño se ha considerado varios aspectos, tales como son: Forma de la estructura, estabilidad, grados de libertad y ubicación de los elementos electrónicos. Cabe mencionar que la parte electrónica se ha distribuido por toda la estructura del robot ya que se desea mantener oculta con el fin de no dañar la estética del prototipo.

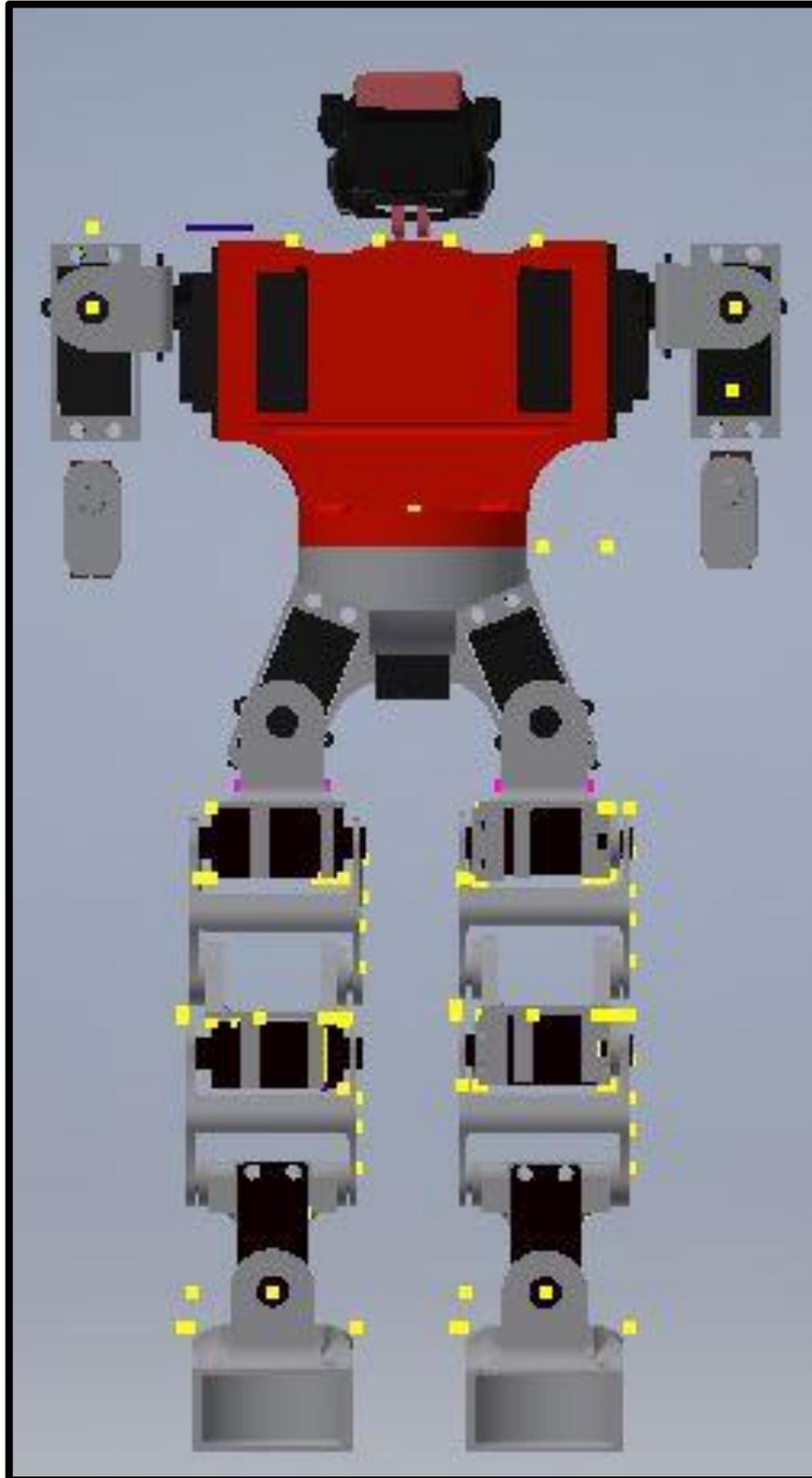
A continuación, se muestran distintas visualizaciones de la estructura diseñada de Willow\_VA. Se debe mencionar que un factor importante en el desarrollo de este diseño es conservar la estabilidad del prototipo ya que alguna inestabilidad podría producir caídas del robot. En la figura 3-2 se aprecia el diseño frontal del diseño de Willow\_VA, en la figura 4-2 se aprecia la vista lateral del diseño y en la figura 5-2 se aprecia la vista posterior.



**Figura 3-2:** Diseño Frontal de Willow\_VA  
Realizado por: Andrade L, Vallejo D, 2020



**Figura 4-2:** Vista lateral de Willow\_VA  
Realizado por: Andrade L, Vallejo D, 2020



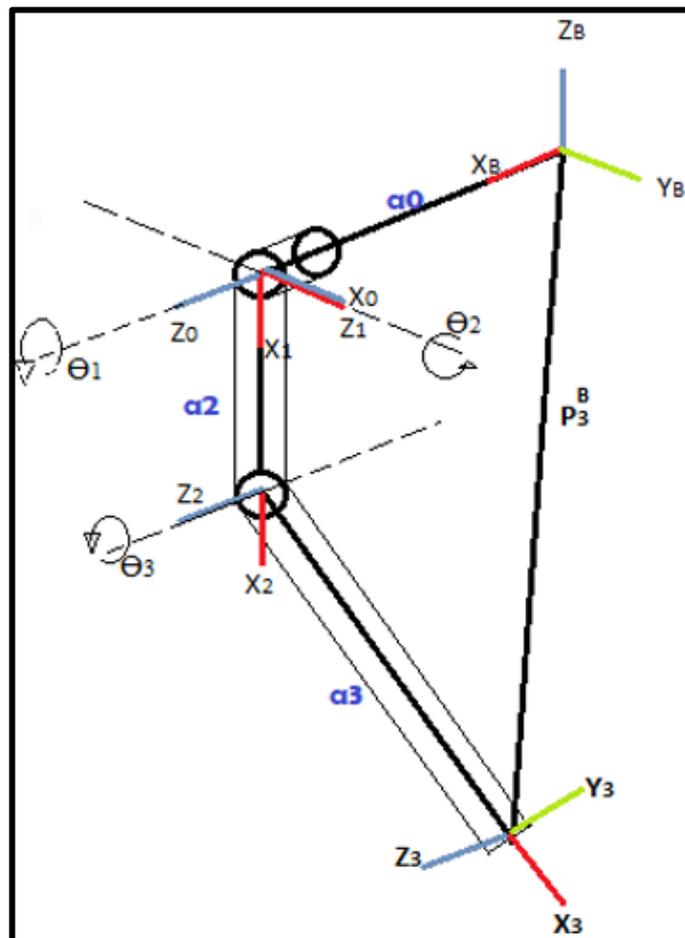
**Figura 5-2:** Diseño posterior de Willow\_VA  
Realizado por: Andrade L, Vallejo D, 2020

### 2.2.2 Modelado Matemático

Para poder definir los movimientos de Willow\_VA es importante analizar primero su cinemática. Cabe mencionar que debido a que la estructura de movimiento del lado izquierdo es la misma que la estructura de movimiento del lado derecho para fines prácticos solo se va a analizar la extremidad derecha. En la siguiente sección se presenta el modelado cinemático de los grados de libertad a estudio de Willow\_VA.

#### 2.2.2.1 Modelado cinemático del Brazo

El brazo de Willow\_VA consta de una estructura con 3gdl formados por los 3 actuadores los cuales van a posicionarse según los movimientos predefinidos que se programen para el robot. Los 3gdl se observan en la figura 6-2, se debe mencionar que existe en el punto en común el cual se encuentra en el servomotor que controla el hombro y el movimiento del brazo.



**Figura 6-2:** Cinemática del Brazo Derecho  
Realizado por: Andrade L, Vallejo D, 2020

En la figura 6-2 se observa la representación de los vectores unitarios de la base  $(X_B, Y_B, Z_B)$  siendo este el sistema de referencia de coordenadas de todo el brazo. Los ejes 0, 1 y 2 son los ejes locales de los eslabones. Las juntas rotacionales conectan todos los eslabones, su rotación esta denotada con  $\Theta$ . La distancia entre los ejes esta denotada con  $\mathbf{a}$ . el objetivo es determinar la posición del efector final con respecto a la base. Esto se logra estableciendo la cinemática directa estimada del vector resultante en este caso de  $P_3^B$ .

Inspirados en la cinemática de robots manipuladores se puede determinar el vector del efector final en términos de  $\Sigma_B$  y  $\Sigma_3$  por la ecuación 1-2:

$$\Sigma_B = R\Sigma_3 \quad (1-2)$$

Donde R es la matriz de rotación que representa la transformación de coordenadas de  $\Sigma_3$  con respecto a  $\Sigma_B$ . Para obtener R, se utiliza la ecuación 2-2

$$A_n^{n-1}(\theta_n) = \begin{bmatrix} R_n^{n-1} & P_n^{n-1} \\ 0^T & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} n & s & a & p \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (2-2)$$

Donde  $A_n^{n-1}$  es la matriz de transformación homogénea del eslabón n-1 con respecto al eslabón n. La matriz A esta en función de  $\theta_n$ . El componente de  $R_n^{n-1}$  representa la rotación, mientras que  $P_n^{n-1}$  representa la traslación.  $0^T$  y 1 son los vectores escalares de perspectiva y escala. [n s a p] representa el vector normal, es decir el vector deslizante, el vector de acercamiento y el vector de posición final, respectivamente. Los parámetros de Denavid Hatenberd del brazo se observa en la tabla 1-2.

**Tabla 1-2:** Parámetros de Denavid Hatenberd del Brazo

Articulación	$\Theta$	d	$\mathbf{a}$	$\alpha$	Rango de movimiento	
1	$-\pi/2$	0	0	$-\pi/2$	$-90^\circ$	$180^\circ$
2	0	0	$\mathbf{a}_2$	$-\pi/2$	$-180^\circ$	0
3	0	0	$\mathbf{a}_3$	0	$0^\circ$	$95^\circ$

Fuente: Propia

Realizado por: Andrade L, Vallejo D, 2020

Dado que el primer eslabón empieza a partir de la articulación del hombro, la matriz de transformación de la base unida al torso con respecto al primer eje de coordenadas del brazo esta descrita por la ecuación 3-2:

$$A_0^B = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 & a_0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (3-2)$$

Una vez sustituido los parámetros D-H de la tabla 1-2 en la matriz de transformación homogénea se obtiene la descripción de la relación y traslación entre los eslabones adyacentes, es decir se obtiene las matrices de transformación de cada eslabón del brazo, para finalmente obtener el vector que describe la posición del efector final con respecto a la base el cual se puede observar en la ecuación 4-2.

$$P_3^B = \begin{bmatrix} P_X \\ P_Y \\ P_Z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_0 - a_2 S_2 - a_3 S_2 C_3 \\ a_2 C_1 C_2 + a_3 (C_1 C_2 C_3 - S_1 S_3) \\ a_2 S_1 C_2 + a_3 (S_1 C_2 C_3 - C_1 S_3) \end{bmatrix} \quad (4-2)$$

### 2.2.3 Dimensionamiento de elementos electrónicos

En la tabla 2-2 se puede observar una comparación existente de la corriente de consumo de diferentes elementos a utilizar considerando dos aspectos: El primero es cuando el elemento no posee ningún tipo de carga y el segundo es cuando el elemento posee carga. Se puede observar que la mayoría de los elementos requieren consumo de un mayor amperaje cuando este posee una carga.

**Tabla 2-2:** Comparación de amperaje de consumo.

Cantidad	Elementos	Corriente sin carga	Corriente con carga
2	MP1584	100 uA	100 uA
1	Arduino nano	40 mAh	40 mAh
1	Placa Raspberry Pi 4	200 mAh	200 mAh
5	motores servos estándar	125 mAh	900 mAh
2	motores servos mini	30 mAh	260 mAh
1	Raspberry Pi módulo de cámara V2, 8 megapíxeles	50 mAh	50 mAh
1	sensor ultrasónico	5 mAh	15 mAh
TOTAL		450.1 mAh	1455.1mAh

Fuente: Propia

Realizado por: Andrade L, Vallejo D, 2020

El cálculo para la duración de las baterías durante el funcionamiento del robot Willow\_VA, se lo realiza en base a los valores obtenidos de la hoja de datos técnicos. Dichos valores se los aprecia



## 2.3 Fase de Selección

Una vez culminada la fase de diseño se procede a la selección tanto de los elementos de hardware como los de software, para lo cual es primordial tener en cuenta que debe establecerse una buena comunicación entre software y hardware.

### 2.3.1 Hardware

Por medio del estudio realizado el cual se puede apreciar en el capítulo anterior se puede definir los elementos de Hardware que cumplen con las características que mejor se adaptan al sistema garantizando así un correcto funcionamiento. Los elementos utilizados en el prototipo Willow\_VA se enlistan a continuación en la tabla 3-2.

**Tabla 3-2:** Características técnicas para Willow\_VA

<b>Modulo</b>	<b>ELEMENTOS</b>	<b>VOLTAJE-CORRIENTE DE CONSUMO</b>
Módulo de Baterías	3 baterías Li-Po 2 MP1584	7.4 Vdc - 1600mAh 7.4 Vdc – 100uA
Módulo de Procesamiento	1 Arduino nano 1 placa Raspberry Pi 4	5 Vdc – 40mAh 5 Vdc – 200mAh
Módulo de Movimiento	5 motores servos estándar 2 motores servos mini	6 Vdc - 25/180mAh 5 Vdc – 15/130mAh
Módulo de visión	1 Raspberry Pi módulo de cámara V2, 8 megapíxeles	5 Vdc – 50mAh
Módulo de Navegación	1 sensor ultrasónico	5 Vdc – 5/15mAh

Fuente: Propia

Realizado por: Andrade L, Vallejo D, 2020

### 2.3.2 Software

Previo a las investigaciones realizadas se ha determinado que es preciso que el Prototipo Willow\_VA sea de bajo costo, ya que como se ha especificado antes el objetivo del proyecto es ser una herramienta de aprendizaje y estimulación para niños en etapa pre escolar. Con el fin de cumplir con lo expuesto se hará uso de softwares no licenciados.

### 2.3.2.1 *Requerimiento de los softwares a utilizar*

Uno de los puntos más importantes para la ejecución del presente proyecto es el requerimiento del software ya que todo el sistema depende estrictamente de la programación, instalación e implementación del Prototipo. Algunos puntos importantes a considerar para el desarrollo del proyecto son:

- ✚ Sistema Operativo y librerías gratuitas.
- ✚ Compatibilidad de las librerías con el sistema operativo.
- ✚ Algoritmo capaz de detectar los movimientos de la persona.
- ✚ Recrear los movimientos detectados en Willow\_VA.

### 2.3.2.2 *Descripción de los softwares utilizados*

El software empleado para la etapa de visión artificial es Python 2, el cual ha sido seleccionado ya que cuenta con un lenguaje de programación de alto nivel, posee estructuras de datos eficientes y además este viene instalado por defecto en el sistema operativo de la Raspberry. Para el desarrollo de la programación dirigida en tiempo real se utiliza OpenCV, ya que es una librería basada en aplicaciones en tiempo real para el tratamiento de imágenes el cual cuenta con ciertas librerías de Python.

## 2.4 **Fase de Implementación**

### 2.4.1 *Ensamblaje de la estructura del prototipo Willow\_VA*

Una vez realizado el diseño y selección del prototipo pasamos a la fase de implementación. La construcción del Robot se la realiza mediante una impresora 3D a partir del diseño en Inventor. La impresión se realiza con un factor de relleno del 100% para evitar grietas que puedan producir rupturas en las piezas. El material utilizado fue PLA. En la figura 8-2 se puede observar la impresión en 3D de las piezas del robot.



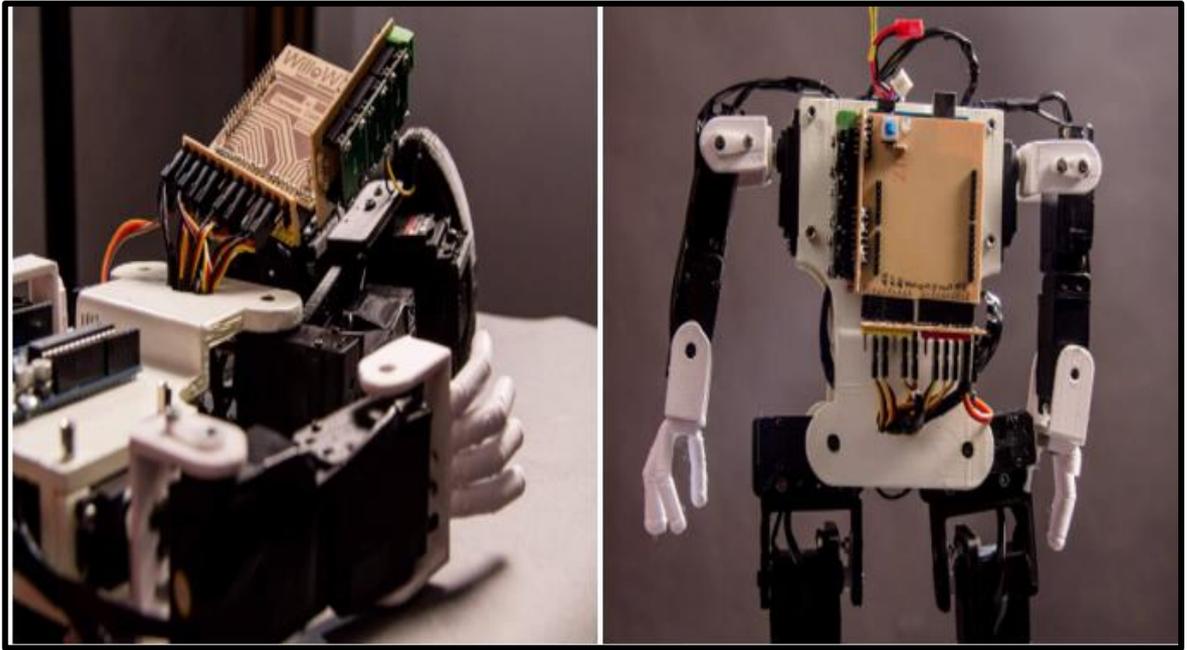
**Figura 8-2:** Impresión de las piezas de Willow\_VA  
**Realizado Por:** Andrade Liseth, Vallejo Daniel, 2020

Una vez fabricadas las piezas, el diseño de las pistas del circuito es fundamental para la implementación y montaje del sistema en general, para este propósito se utilizó el software de diseño de pistas Eagle. En la figura 9-2 se puede observar la realización de la placa general del prototipo Willow\_VA.



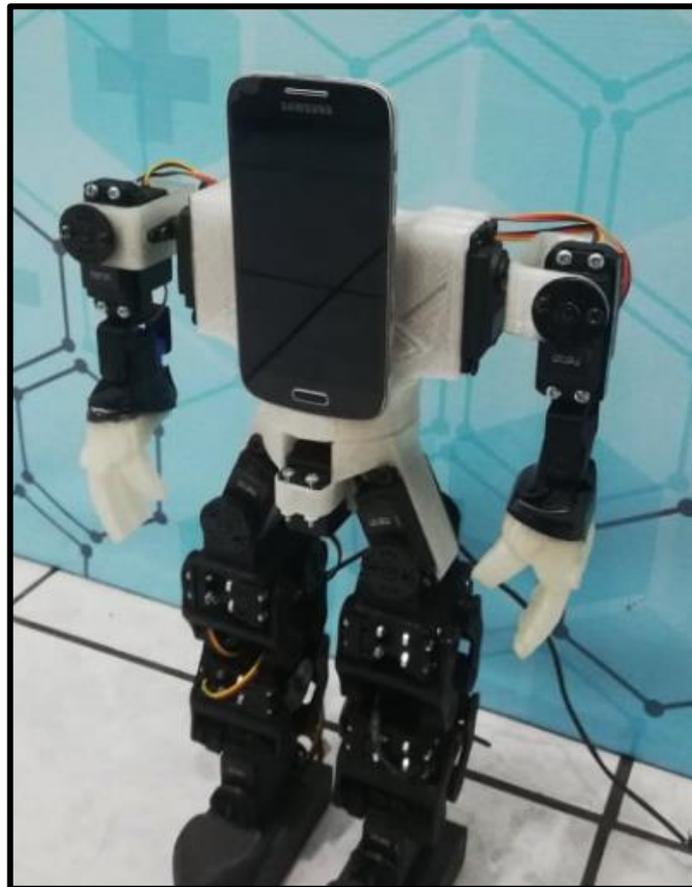
**Figura 9-2:** Diseño de pistas del circuito  
**Realizado Por:** Andrade L, Vallejo D, 2020

Ya con todas las partes listas se procede a ensamblar la estructura del prototipo Willow\_VA. En la figura 10-2 se observa imágenes del ensamblaje mecánico y electrónico en donde se incorporan todas las piezas ya antes mencionadas.



**Figura 10-2:** Etapas de ensamblaje del prototipo Willow\_VA  
Realizado Por: Andrade L, Vallejo D, 2020

Finalmente, En la figura 11-2 se muestra el ensamble final, el cual es similar al diseño realizado en inventor.



**Figura 11-2:** Prototipo Willow\_VA  
Fuente: Andrade L, Vallejo D, 2020

### ***2.4.2 Sistema de visión artificial***

En el presente trabajo de investigación se considera un modelo desarrollado para trabajar con la arquitectura ARM64 de la tarjeta Raspberry PI 4. Dicho modelo se denomina: "Posenet" y ha sido escalado para optimizar el consumo de recursos del microcomputador. Los puntos clave detectados se identifican mediante un índice "ID de punto clave", el cual tiene valores de confianza (de la estimación) que se puntúa entre 0.0 y 1.0, siendo 1.0 el más alto.

Según el dispositivo de procesamiento, y la configuración de las opciones de salida (en cuanto a mapas de calor y vectores de compensación) los resultados varían. Para una mayor precisión y rapidez requerimos mayores capacidades de cómputo. Sin embargo, para el desarrollo del presente proyecto se ha determinado un equilibrio aceptable entre velocidad de respuesta y desempeño del sistema, al usar un modelo PoseNet optimizado para arquitectura ARM64.

En esta sección se mostrará el desarrollo del sistema a nivel de software, usando las herramientas previamente definidas en la fase de selección que servirán para lograr una eficiente comunicación entre las 2 plataformas del prototipo

#### ***2.4.2.1 Requerimiento General del sistema de Visión artificial***

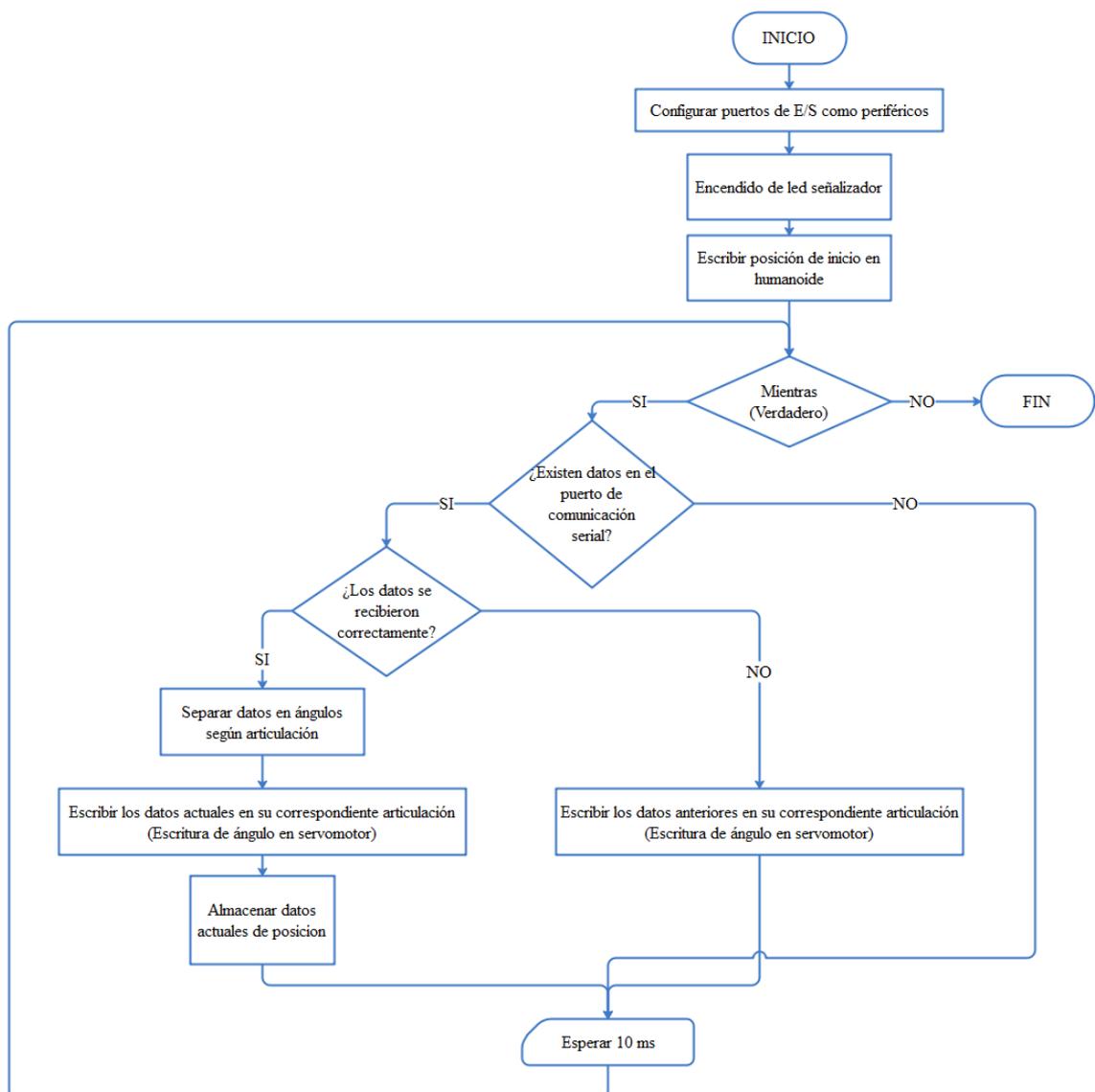
Uno de los dos puntos claves del prototipo es la detección por medio de visión artificial de los movimientos de la persona en tiempo real para lo cual se presentan los diagramas de flujo de cada una de las distintas etapas del proceso de reconstrucción de los datos; tales como:

- ✚ Adquisición de imágenes.
- ✚ Preprocesamiento de imágenes.
- ✚ Procesamiento de imágenes y obtención de puntos.
- ✚ Extracción de Características
- ✚ Reconocimiento de silueta medio Superior
- ✚ Interpretación de la escena
- ✚ Envío de paquetes de datos al actuador

### 2.4.3 Algoritmos del Sistema de Visión Artificial

#### 2.4.3.1 Flujoograma del General del funcionamiento de Willow\_VA.

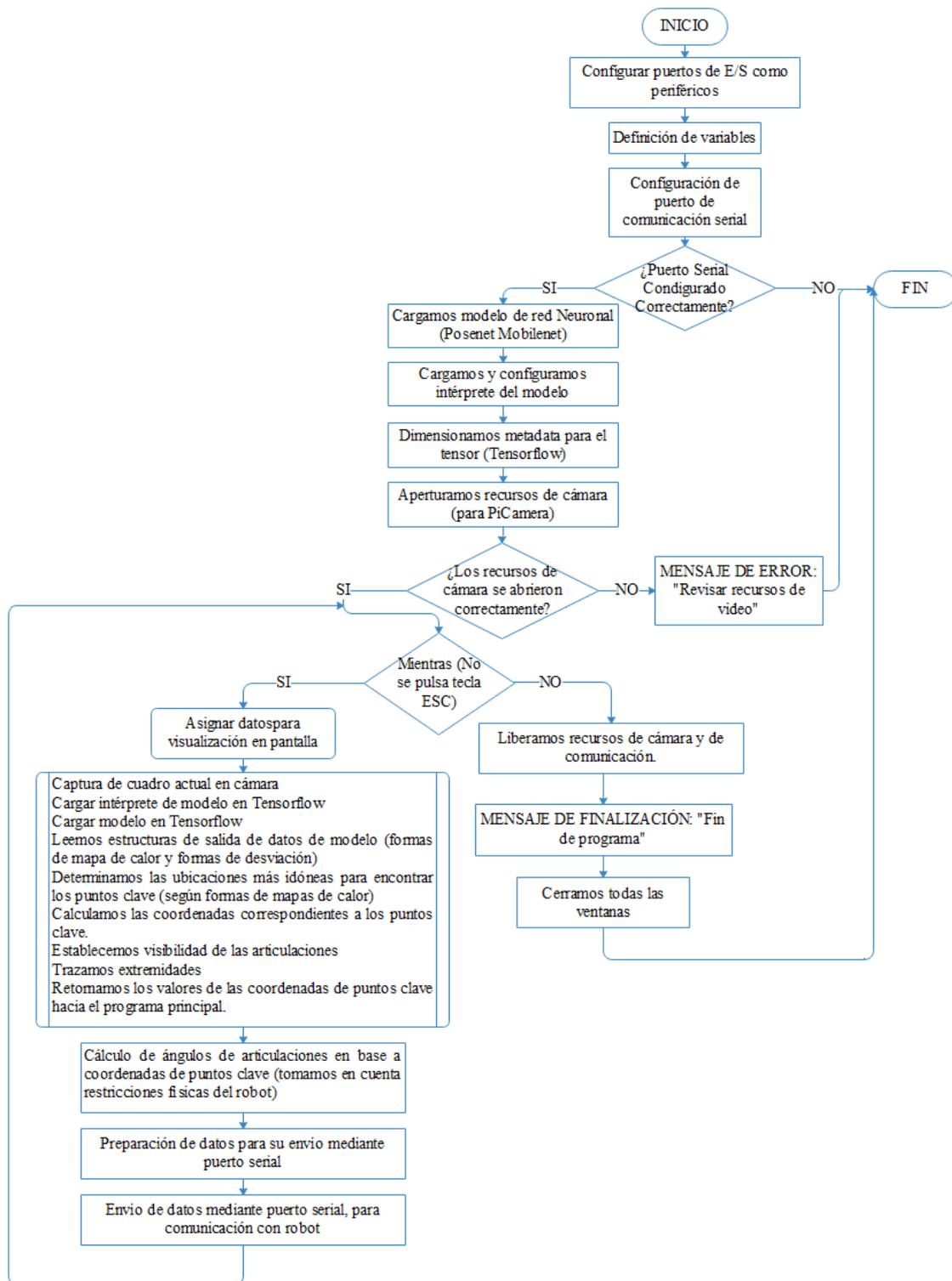
En la gráfica 1-2 se muestra el funcionamiento del sistema general de Willow\_VA, es decir se detalla el proceso de comunicación entre el sistema de visión artificial y el actuador que en este caso es robot Willow\_VA. Para la comunicación existente se hace uso del puerto serial por el cual se envía el paquete de datos, una vez que el robot recibe dichos datos este lo procesa e identifica los grados a mover.



**Gráfica 1-2:** Diagrama de Flujo del funcionamiento general de Willow\_VA

Realizado Por: Andrade L, Vallejo D, 2020

2.4.3.2 *Flujograma del sistema de visión artificial de Willow\_VA*

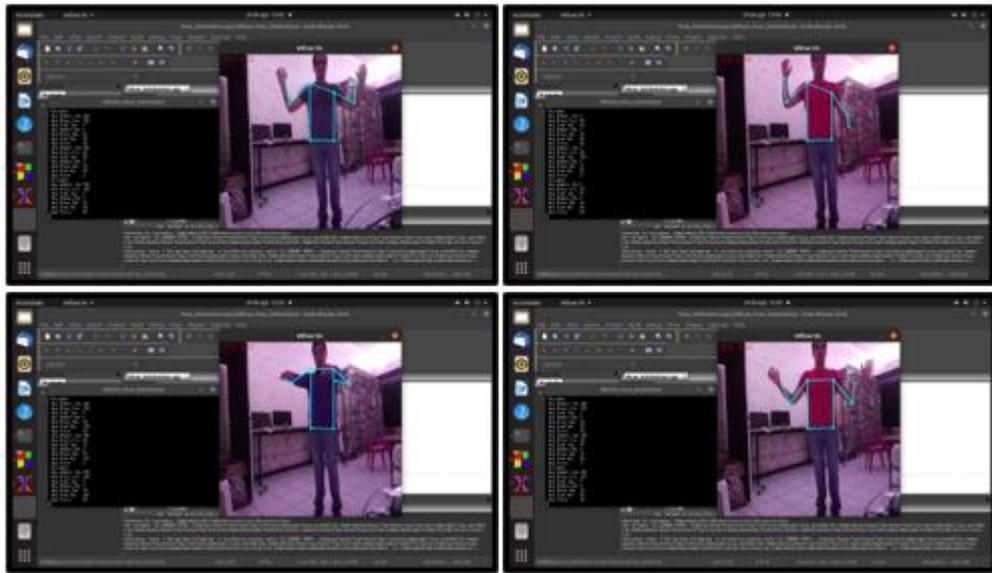


**Gráfica 2-2:** Diagrama de flujo de funcionamiento de tarjeta de desarrollo  
**Realizado Por:** Andrade L, Vallejo D, 2020

## 2.5 Fase de Evaluación

### 2.5.1 Funcionamiento del Sistema de Visión Artificial

El primer paso que desarrolla el algoritmo de visión artificial es la adquisición de la imagen esta etapa consiste en la captura de la imagen. En el caso de Willow\_VA se va a trabajar en tiempo real por lo que el envío de paquete de datos se hace constantemente, con el propósito de que el Robot replique los movimientos con la menor latencia posible.



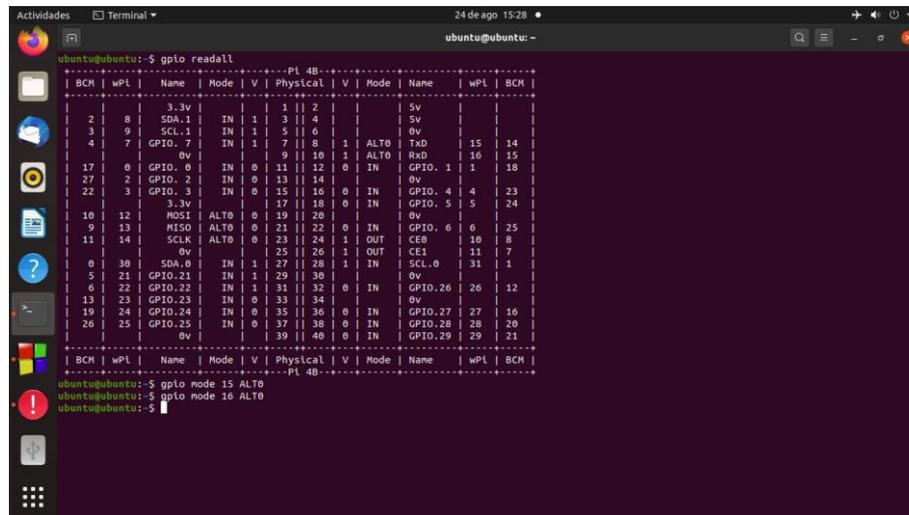
**Figura 12-2:** Adquisición de la imagen en tiempo real  
Realizado Por: Andrade L, Vallejo D, 2020

Como se puede ver en la figura 12-2 al ejecutar el programa de adquisición de imagen la cámara se activa y envía un video en tiempo real. Posteriormente el programa pasa a la etapa de filtrado para eliminar el ruido obtenido en la imagen con el fin de evitar falsos positivos. Una vez realizado el filtrado pasa a la etapa de segmentación y procesamiento en donde se captura la imagen para extraer una estimación de pose de la persona.

La estimación de pose se la obtiene con ayuda de la librería Tensorflow esta librería posee una arquitectura compatible con raspberry, la ventaja de esta librería es que posee un bajo consumo ayudando a evitar saturación en la raspberry PI4.

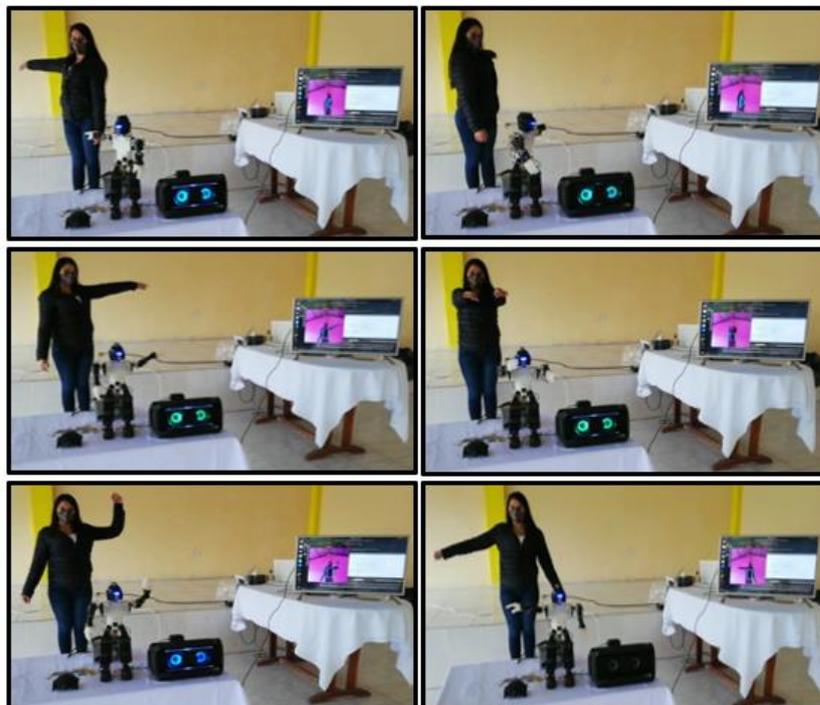
Una vez obtenido el paquete de datos el sistema compara los datos obtenidos de la cámara con los valores previamente definidos en el algoritmo de entrenamiento. En esta etapa la raspberry pi4 toma estos datos obtenidos y envía por medio de comunicación serial al Arduino en la figura 13-2 podemos observar el paquete de datos. Al recibir el Arduino esta información interpreta el

paquete de datos como grados, y dependiendo de los valores obtenidos se realiza el control de los motores.



**Figura 13-2:** Visualización de Paquete de Datos  
Fuente: Andrade L, Vallejo D, 2020

En la figura 14-2 se muestra el funcionamiento del robot en tiempo real. Cabe mencionar que con la selección de los elementos tanto de hardware como software se pudo disminuir la latencia por lo que el robot cumple con su funcionamiento casi en tiempo real.



**Figura 14-2:** Funcionamiento de Willow\_VA  
Fuente: Andrade L, Vallejo D, 2020

Finalmente, una vez que se realizó todo el proceso este se realimenta hasta la etapa de filtrado para seguir captando los movimientos que se van a procesar posteriormente.

## CAPITULO III

### 3 VALIDACIÓN DE PROTOTIPO

En el presente capítulo se detalla las pruebas y los resultados obtenidos del sistema de Visión Artificial de Willow\_VA para la recreación de movimientos que ayuden en el aprendizaje y estimulación motriz de niños de 3-5 años de edad. De igual manera se presenta una comparación entre las terapias realizadas con el personal capacitado sin la ayuda de Willow\_VA y las terapias realizadas con ayuda del prototipo. Para la obtención de los resultados se hace uso de análisis estadísticos con el fin de validar la eficiencia del prototipo.

#### 3.1 Evaluación de Funcionamiento

##### 3.1.1 Prueba de detección de personas del Sistema

Se ha utilizado varios tipos de objetos para determinar qué tan efectiva es la detección humana por parte del sistema de visión artificial, se debe tener en cuenta que el comportamiento depende directamente de la red neuronal que ha sido previamente entrenada para conocer la silueta de una persona. Otro objetivo de esta prueba es sacar al sistema de su zona de confort para identificar su respuesta ante distractores. Para registrar los datos obtenidos se utilizó los valores 1 y 0, el valor de 1 indica que el sistema reconoce y cumple el parámetro analizado mientras que 0 indica lo contrario es decir que no cumple. En la tabla 1-3 se puede apreciar los datos obtenidos durante esta prueba.

**Tabla 1-3:** Resultados obtenidos de la prueba de distractores

Distractor	RECONOCE	NO RECONOCE
Silla de color blanco sin respaldo	0	1
Silla de color blanco con respaldo	0	1
Silla color blanco con respaldo, con chompa	0	1
1 persona en movimiento	1	0

2 personas en movimiento	0	1
1 persona sin movimiento mayor a 180s	0	1
2 personas sin movimiento mayor a 180s	0	1
Disfraz de persona	0	1
Persona en movimiento a distancia mayor a 2 metros	0	1
Persona en movimiento a distancia menor a 1.5 metros	0	1
Persona en movimiento a distancia menor a 2 metros y mayor a 1.5 metros	1	0
Maniquí	0	1
Total	2	10

Número de Aciertos	12
Numero de Fallas	0

Fuente: Propia  
Realizado por: Andrade L, Vallejo D, 2020

Para poder cuantificar la efectividad del sistema es esencial determinar el porcentaje de aciertos obtenidos, para ello se hace uso de la ecuación (1-3).

$$\%Aciertos = \frac{N^{\circ} Aciertos}{Total} * 100\% \quad (1-3)$$

$$\%Aciertos=100\%$$

Los resultados obtenidos en esta prueba permiten determinar que el sistema detecta y diferencia correctamente la silueta humana obteniendo un porcentaje de aciertos del 100% de los casos, se debe mencionar que este valor es el esperado teniendo en cuenta que se está empleando algoritmos especializados.

### 3.1.2 Prueba de respuesta del Sistema ante diferentes iluminaciones

En esta prueba se sometió al sistema a funcionar en diferentes horas del día, con el objetivo de determinar cuando el sistema responde de manera más efectiva es decir al 100%. Para la prueba se tomó un rango de medición de luminosidad desde los 0.11 a 100000 lux, por lo que se pudo realizar las pruebas durante todo el día. Para obtener los valores de la respuesta de lectura del sistema se tomó como referencia las lecturas de líneas que el sistema de visión artificial es capaz de detectar. El sistema debe reconocer 8 líneas que conformaran los puntos a estudio de la parte media superior del cuerpo humano, cabe mencionar que sí reconoce las 8 líneas correctamente esto quiere decir que el sistema obtuvo una eficiencia igual al 100%. En la tabla 2-3 se mide la eficiencia del sistema en la mañana (8:00 am), en la tabla 3-3 se mide la eficiencia del sistema al medio día (12:00), en la tabla 4-3 se mide la eficiencia del sistema en la tarde (17:00) y en la tabla 5-3 se mide la eficiencia del sistema en la noche (20:00).

**Tabla 2-3:** Resultado de la eficiencia del sistema en la mañana

<b>PRUEBA</b>	<b>Mañana (08:00) medido en lux</b>	<b>Clima</b>	<b>Respuesta de lectura de sistema en %</b>
1	201	Nublado	75
2	226	Soleado	100
3	208	Lluvia	87.5
4	218	Despejado	100
5	219	Despejado	100

Fuente: Propia

Realizado por: Andrade L, Vallejo D, 2020

**Tabla 3-3:** Resultados de la eficiencia del sistema al medio día

<b>PRUEBA</b>	<b>Medio día (13:00) medido en lux</b>	<b>Clima</b>	<b>Respuesta de lectura de sistema en %</b>
1	225	Lluvia	100
2	231	Soleado	100

3	228	Despejado	100
4	229	Despejado	100
5	233	Soleado	100

Fuente: Propia

Realizado por: Andrade L, Vallejo D, 2020

**Tabla 4-3:** Resultado de la eficiencia del sistema en la tarde

<b>PRUEBA</b>	<b>Tarde (17:00) medido en lux</b>	<b>Clima</b>	<b>Respuesta de lectura de sistema en %</b>
1	198	Despejado	100
2	221	Despejado	100
3	206	Despejado	100
4	208	Lluvia	87.5
5	224	Soleado	100

Fuente: Propia

Realizado por: Andrade L, Vallejo D, 2020

**Tabla 5-3:** Resultado de la eficiencia del sistema en la noche

<b>PRUEBA</b>	<b>Noche (20:00) medido en lux</b>	<b>Clima</b>	<b>Respuesta de lectura de sistema en %</b>
1	242	Despejado	87.5
2	242	Despejado	87.5
3	242	Despejado	87.5
4	242	Despejado	87.5
5	242	Despejado	87.5

Fuente: Propia

Realizado por: Andrade L, Vallejo D, 2020

Para determinar la eficiencia del sistema en esta prueba se encontró la media de los valores de respuesta de lectura del sistema obtenidos durante las diferentes horas del día, para ello se empleó la ecuación (2-3).

$$n = \frac{P1+P2+\dots+Pn}{N^{\circ} \text{ pruebas}} \quad (2-3)$$

Una vez aplicada la Ecuación 1-3, podemos observar los valores de las medias obtenidas en la tabla 6-3.

**Tabla 6-3:** Resultado de la media obtenida de los datos de cada hora del día

	<b>Respuesta de lectura de sistema en %</b>
Mañana	92,5
Medio Día	100
Tarde	97,5
Noche	87,5

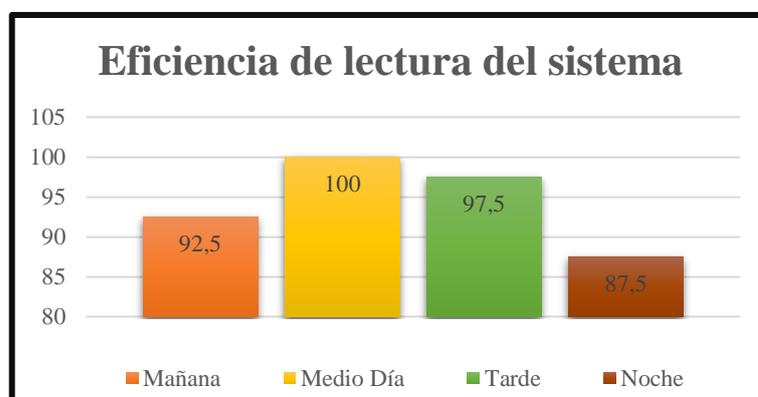
**Fuente:** Propia

**Realizado por:** Andrade L, Vallejo D, 2020

$$n = \frac{92.5 + 100 + 97.5 + 87.5}{4}$$

$$n = 94.37\%$$

Como se puede observar en el resultado obtenido de las diversas pruebas el promedio general de la eficiencia del sistema es de 94.37%, por lo que se deduce que se tiene un margen de error de 6.73%.



**Gráfica 1-3:** Eficiencia del Sistema

**Realizado por:** Andrade L, Vallejo D, 2020

Esta prueba permitió verificar que el sistema funciona adecuadamente en todas las horas del día, ya que durante el período de pruebas se obtuvieron datos alentadores, siendo que la respuesta de lectura más baja fue de 75% y la más alta, como se esperaba fue de 100%. Al ser el clima una variable que no puede ser manipulada se puede indicar que independientemente de las condiciones climáticas y de la hora del día en que se ocupe, el sistema tiene un funcionamiento adecuado. No obstante, el estudio realizado demuestra que al medio día tiene una efectividad del 100%.

### 3.1.3 Prueba de tiempo de procesamiento

Esta prueba se realizó con el objetivo de medir el tiempo que transcurre entre el procesamiento del sistema y la comunicación con el actuador en este caso Willow\_VA. El tiempo de procesamiento va a depender del número de grados de libertad y las dimensiones en las que se esté trabajando, es decir va a depender directamente del movimiento a ejecutar.

Para la obtención de los datos se realizó una trama para ejecutar 1 grado siendo esta respuesta casi inmediata, la latencia del sistema fue incrementando en base a la trama de datos más completa que se presenta al momento de incorporar más motores para su ejecución.

**Tabla 7-3:** Resultados del tiempo de procesamiento

Grados de libertad	Tiempo de ejecución en milisegundos
1	200
2	350
3	500
4	700
5	800
6	950
7	1200

Fuente: Propia

Realizado por: Andrade L, Vallejo D, 2020

En la tabla 7-3 se puede observar que el tiempo de procesamiento varía según el número de grados de libertad. En conclusión, se dedujo que el sistema de adquisición y ejecución tiende a bajar su rendimiento con más periféricos tanto de salida como, de entrada. No obstante, se debe tener en cuenta que el tiempo de latencia obtenido es mínimo ya que se trata de milisegundos.

### 3.2 Evaluación de Terapias Psicomotriz en niños de 3 a 5 años de edad

Para esta prueba se realizó las gestiones pertinentes para contar con la ayuda de personal calificado que valide la eficiencia del prototipo Willow\_VA, obteniendo así la ayuda de 5 docentes parvularios con amplia experiencia en el área. Asimismo, se han realizado los trámites necesarios para obtener la autorización del representante legal para la participación de los niños en edades entre 3 a 5 años en la etapa de pruebas del prototipo Willow\_VA.

Con la finalidad de comprobar el beneficio y la efectividad del uso de Willow\_VA en terapias psicomotrices se realizó 2 pruebas, la primera prueba se la hizo sin el uso del prototipo de esta manera se logró obtener cifras reales del comportamiento de los niños ante la terapia común. La segunda prueba en cambio se la realizo con ayuda del humanoide, una vez obtenido estos valores se determinó mediante métodos estadísticos que tan efectivo es el uso de Willow\_VA como herramienta de aprendizaje-enseñanza.

#### 3.2.1 Prueba de terapia motriz sin Willow\_VA

Esta terapia se la realizo con técnicas de estimulación psicomotriz enfocadas en expresión corporal, teniendo como guía a los expertos ya mencionados. La prueba se la realizo con el objetivo de determinar datos reales para una posterior comparación con los datos obtenidos del uso del robot Willow\_VA en terapias de estimulación motriz en niños de 3-5 años. En la tabla 8-3 se pueden apreciar los datos obtenidos de esta terapia.

**Tabla 8-3:** Resultados de la terapia motriz sin Willow\_VA

	Número de movimientos	Número de Aciertos	Número Errores
Sujeto 1	15	8	7
Sujeto 2	15	10	5
Sujeto 3	15	9	6
Sujeto 4	15	11	4
Sujeto 5	15	7	8
Sujeto 6	15	10	5
Sujeto 7	15	13	2
Sujeto 8	15	11	4

Fuente: Propia

Realizado por: Andrade L, Vallejo D, 2020

Para determinar el porcentaje de efectividad de la terapia en cada sujeto a estudio se utilizó la ecuación (3-3). En la tabla 9-3 se observan los valores obtenidos.

$$\%Efc = \frac{N^{\circ} \text{ Aciertos} * 100}{N^{\circ} \text{ de movimientos}} \quad (3-3)$$

**Tabla 9-3:** Porcentaje de efectividad obtenido en cada sujeto a estudio

	% Efectividad de la Terapia
Sujeto 1	53,33
Sujeto 2	66,67
Sujeto 3	60,00
Sujeto 4	73,33
Sujeto 5	46,67
Sujeto 6	66,67
Sujeto 7	86,67
Sujeto 8	73,33

Fuente: Propia

Realizado por: Andrade L, Vallejo D, 2020

Con los datos obtenidos se procede a determinar el promedio de efectividad para los 8 sujetos como se indica en la ecuación (2-3).

$$n = \frac{53.33 + 66.67 + 60.00 + 73.33 + 46.67 + 66.67 + 86.67 + 73.33}{8}$$

$$n = 65.83\%$$

El promedio de efectividad de la terapia realizada con guía del experto es del 65.83%, esto quiere decir que durante la terapia los niños no alcanzaron a cumplir el objetivo deseado, teniendo un margen de error del 34.17%.

### 3.2.2 Prueba de terapia motriz con Willow\_VA

La forma física de Willow\_VA fue de mucha ayuda, ya que los sujetos a estudio presentaron interés por jugar con el prototipo, es decir se captó por completo la atención de los niños. Al realizar la terapia se pudo observar una mayor precisión en la ejecución de los movimientos de los niños. En la tabla 10-3 se aprecian los resultados obtenidos de la terapia motriz enfocada en expresión corporal realizada con Willow\_VA.

**Tabla 10-3:** Resultados de la terapia motriz con Willow\_VA

	Número de movimientos	Número de Aciertos	Número Errores
Sujeto 1	15	14	1
Sujeto 2	15	15	0
Sujeto 3	15	15	0
Sujeto 4	15	15	0
Sujeto 5	15	13	2
Sujeto 6	15	15	0
Sujeto 7	15	15	0
Sujeto 8	15	14	1

Fuente: Propia

Realizado por: Andrade L, Vallejo D, 2020

De la misma manera que en la prueba anterior, se utilizó la ecuación (3-3) para determinar el porcentaje de efectividad de la terapia en cada sujeto a estudio. En la tabla 11-3 se observan los valores obtenidos.

**Tabla 11-3:** Porcentaje de efectividad obtenido en cada sujeto a estudio

	% Efectividad de la Terapia
Sujeto 1	93,33
Sujeto 2	100,00
Sujeto 3	100,00
Sujeto 4	100,00
Sujeto 5	86,67
Sujeto 6	100,00
Sujeto 7	100,00
Sujeto 8	93,33

Fuente: Propia

Realizado por: Andrade L, Vallejo D, 2020

Se procede a determinar el promedio de efectividad para los 8 sujetos como se indica en la ecuación (2-3).

$$n = 96.67\%$$

A partir de la media obtenida se puede concluir que la terapia motriz con Willow\_VA obtuvo una efectividad del 96.67%, en base a este resultado se determina que la terapia con el prototipo ayuda evidentemente en la estimulación motriz de los niños ya que de los datos visualizados en la tabla 10-3 se puede concluir que la mayoría de los niños cumplieron a cabalidad con la terapia.

### 3.3 Aceptación del prototipo Willow\_VA

Para determinar la aceptación del prototipo como herramienta de apoyo para terapias motrices se realizó 2 tipos de encuesta, la primera enfocada a los niños, y la segunda enfocada a los docentes, ambos han mostrado un gran interés en el prototipo.

#### 3.3.1 Evaluación de las encuestas dirigidas a los niños a estudio

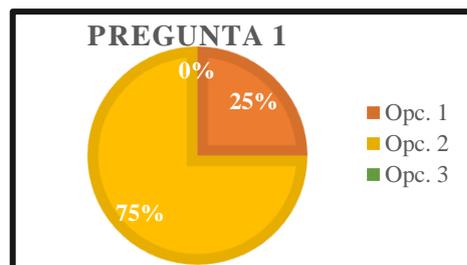
Como se mencionó antes con la finalidad de conocer el criterio de los niños con respecto a Willow\_VA se realizó una encuesta la cual ayudó a verificar el grado de aceptación que obtuvo el prototipo después de la terapia realizada. Para la encuesta desarrollada se utilizó un método de respuesta por medio de caritas, de esta manera los niños pudieron expresar sus opiniones acerca del prototipo. Las preguntas realizadas en esta encuesta se observan en el ANEXO C

Los resultados que se obtuvieron de estas encuestas fueron favorables, es decir se obtuvo una buena aceptación hacia Willow\_VA por parte de los niños. El análisis estadístico de los resultados obtenidos en la encuesta se describe a continuación:

##### 3.3.1.1 Análisis de la encuesta

La interpretación de los resultados de las encuestas realizadas a los sujetos a estudio se las visualiza en las gráficas siguientes. Gracias a estas gráficas se puede decir que el grado de aceptación de Willow\_VA cumple con las expectativas planteadas. Ya que el desarrollo de la terapia motriz se realizó sin ningún tipo de interrupción.

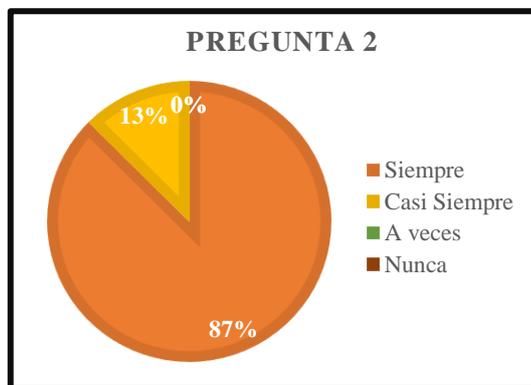
En la pregunta 1 se analiza que rostro de Willow\_VA causó mayor interés en los niños. En la gráfica 2-3 se observa el porcentaje obtenido para cada una de las opciones. La opción 1 se refiere al rostro original de Willow, la opción 2 es el diseño de Caballero, y la opción 3 es el diseño de un tipo de alíen.



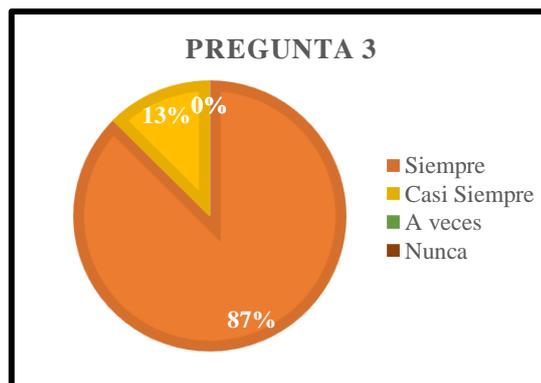
**Gráfica 2-3:** Valores las encuestas obtenidos para la pregunta 1  
**Realizado por:** Andrade L, Vallejo D, 2020

Como se puede observar el rostro de Willow\_VA que tuvo mayor acogida es el de la opción 2 ya que presenta una aceptación del 75%. La opción 1 tuvo una acogida del 25% y finalmente el valor obtenido para la opción 3 demuestra que este diseño no causo ningún interés en los niños.

En la pregunta 2, 3, 4, 5 y 6 se determinó el grado de aceptación de Willow\_VA. En las gráficas 3-3 se observa que con un 87% los niños confirmaron que se divirtieron durante la terapia con Willow\_VA. En la gráfica 4-3 se observa que la mayoría de los niños contestan que han aprendido en la terapia. La gráfica 5-3 indica que con un porcentaje del 100% los niños afirman que quisieran tener a Willow\_VA en sus salones de clase. La gráfica 6-3 indica que todos los sujetos a estudio quisieran aprender más acerca de Willow\_VA. Finalmente, en la gráfica 7-3 se aprecia que todos los niños quisieran tener el prototipo en su casa.



**Gráfica 3-3:** Valores las encuestas obtenidos para la pregunta 2  
**Realizado por:** Andrade L, Vallejo D, 2020



**Gráfica 4-3:** Valores las encuestas obtenidos para la pregunta 3  
**Realizado por:** Andrade L, Vallejo D, 2020



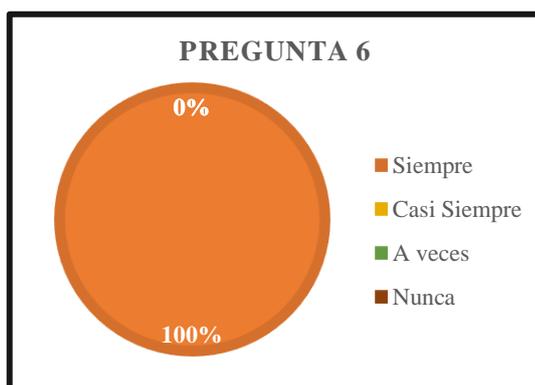
**Gráfica 5-3:** Valores las encuestas obtenidos para la pregunta 4

Realizado por: Andrade L, Vallejo D, 2020



**Gráfica 6-3:** Valores las encuestas obtenidos para la pregunta 5

Realizado por: Andrade L, Vallejo D, 2020



**Gráfica 7-3:** Valores las encuestas obtenidos para la pregunta 5

Realizado por: Andrade L, Vallejo D, 2020

La semejanza de Willow\_VA a un juguete hizo que los niños sientan emoción al trabajar con el prototipo, es decir causo mucha admiración e interés, fue tanta la acogida que tuvo que en ningún momento los niños presentaron manifestaciones de rechazo. Algo que les causo mucha admiración a los niños es la facilidad que tiene Willow\_VA de imitar movimientos. Como

conclusión de este análisis se puede decir que el prototipo es óptimo para trabajar con niños en edad inicial.

### 3.3.2 Evaluación de las encuestas dirigidas a los docentes

La encuesta realizada cumple el propósito de determinar la eficiencia de la terapia realizada con Willow\_VA según la opinión de las docentes de inicial, su amplia experiencia en el desarrollo de niños en etapa pre escolar les permite tener un criterio más técnico el cual nos es de utilidad para poder validar el prototipo. Para la encuesta desarrollada se utilizó preguntas cerradas con el fin de poder obtener datos concretos.

Las preguntas realizadas en esta encuesta se las observa en el ANEXO D.

#### 3.3.2.1 Análisis de los datos obtenidos de la encuesta a los docentes

Los resultados que se obtuvieron de estas encuestas fueron favorables, es decir se comprueba que el sistema de Willow\_VA cumple efectivamente su función, teniendo en cuenta que el personal evaluador tiene conocimientos concretos acerca de terapias de desarrollo psicomotriz de niños en edades iniciales. A continuación, se aprecia los resultados obtenidos en las preguntas 1, 2, 3 y 5.

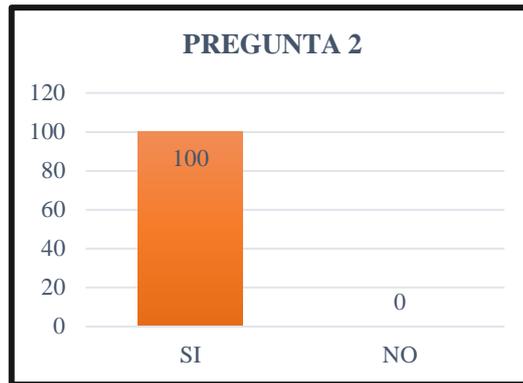
El propósito de estas preguntas es determinar la acogida que puede llegar a tener el sistema de visión artificial por parte del área de docencia. Los datos obtenidos nos ayudaron a identificar el grado de conocimiento que existe de este tipo de modalidad aprendizaje-enseñanza, en este caso cumple el objetivo de explotar el deseo de los niños por jugar e interactuar con Willow\_VA.



**Gráfica 8-3:** Resultado de la encuesta a docente pregunta 1

Realizado por: Andrade L, Vallejo D, 2020

La grafica 8-3 indica que todas las personas encuestadas tienen conocimiento acerca de la modalidad de enseñanza utilizando robots humanoides.



**Gráfica 9-3:** Resultado de la encuesta a docente pregunta 2

**Realizado por:** Andrade L, Vallejo D, 2020

Los resultados obtenidos en la pregunta 2 arrojan que los docentes colaboradores en su totalidad consideran que este tipo de herramientas son útiles para desarrollar la estimulación motriz por medio de terapias de expresión corporal en niños de 3 a 5 años de edad. Dicho resultado se puede apreciar en la gráfica 9-3



**Gráfica 10-3:** Resultado de la encuesta a docente pregunta 3

**Realizado por:** Andrade L, Vallejo D, 2020

La gráfica 10-3 indica que luego de la terapia realizada con Willow\_VA los docentes colaboradores consideran que en dicha terapia se obtuvo una mayor concentración y una mejor captación por parte de los niños.

La gráfica 11-3 demuestra con un porcentaje del 100% que todos los docentes encuestados estarían interesados en adquirir este tipo de herramienta para sus clases.



**Gráfica 11-3:** Resultado de la encuesta a docente pregunta 5  
**Realizado por:** Andrade L, Vallejo D, 2020

Como se puede apreciar en las gráficas 8-3, 9-3, 10-3 y 11-3 Willow\_VA causó un buen impacto al grupo de docentes colaboradoras, quienes con su respuesta han demostrado un gran interés en la adquisición de Willow\_VA como herramienta pedagógica en terapias psicomotrices para niños en edades entre 3 a 5 años.

En la tabla 12-3 se observa los datos obtenidos del criterio de los expertos a cerca de la eficiencia de la terapia realizada con Willow\_VA.

**Tabla 12-3:** Datos obtenidos de la encuesta a docentes pregunta 4

PREGUNTA 4	
Tutor 1	100
Tutor 2	100
Tutor 3	100
Tutor 4	100
Tutor 5	100

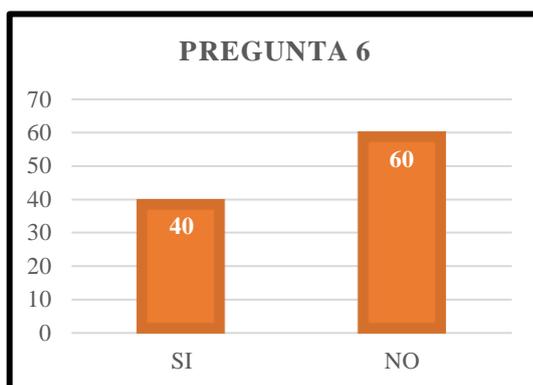
**Fuente:** Propia  
**Realizado por:** Andrade L, Vallejo D, 2020

Estos valores son muy favorables para el sistema de Willow\_VA ya que el promedio de los valores registrados muestra que todos los expertos concuerdan que el sistema ha sido 100% efectivo. Como se aprecia en la gráfica 12-3 se puede constatar dicho criterio.



**Gráfica 12-3:** Eficiencia del sistema según criterio de Expertos  
**Realizado por:** Andrade L, Vallejo D, 2020

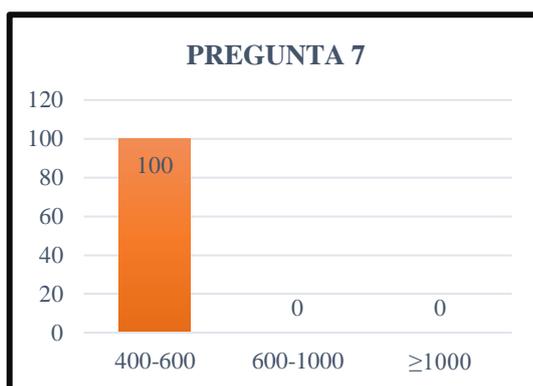
Se consideró importante determinar si los expertos tienen noción del costo de este tipo de prototipos en el mercado, ya que se pretende analizar qué tan comercial puede llegar a ser el prototipo Willow\_VA. Los resultados obtenidos se visualizan en la gráfica 13-3, se puede determinar que en su mayoría desconocen el costo de este tipo de Prototipos ya que en el mercado nacional no se ha presentado este tipo de robots.



**Gráfica 13-3:** Resultado de la encuesta a docente pregunta 6

Realizado por: Andrade L, Vallejo D, 2020

La última pregunta se enfoca en el valor adquisitivo que creen sería módico para el mercado nacional, es decir el valor que los docentes estarían dispuestos a pagar por el prototipo, este valor se visualiza en la gráfica 14-3, claramente se aprecia que en acuerdo general el precio que estarían dispuestos a pagar es de 400 a 600 dólares.



**Gráfica 14-3:** Resultado de la encuesta a docente pregunta 7

Realizado por: Andrade L, Vallejo D, 2020

### 3.4 Validación estadística de la eficiencia obtenida en la terapia con Willow\_VA

Para verificar la eficiencia de la terapia motriz con Willow\_VA, se efectuó una prueba que permita determinar si la mejora detectada con el uso de Willow es estadísticamente significativa

y si dicha mejora se debe al uso de Willow y no al azar. Para este análisis estadístico se hizo uso del software Excel por su amplio entorno.

### 3.4.1 Prueba estadística

#### ✚ Paso 1: Planteamiento de la hipótesis

H0: El porcentaje de efectividad de la terapia motriz con y sin Willow\_VA son iguales

H1: El porcentaje de efectividad de la terapia motriz con y sin Willow\_VA son diferentes

#### ✚ Paso 2: Selección del nivel de significancia

Para la comprobación de la hipótesis, se selecciona un nivel de significancia del 5%

#### ✚ Paso 3: Análisis de los datos de las muestras

Las muestras presentan datos de tipo cuantitativos, continuos, se desconoce la desviación estándar de la población, la varianza de los datos es iguales ya que provienen de la misma población, y presentan una distribución normal.

#### ✚ Paso 4: Selección de prueba estadística

Al tratarse de un estudio que compara las medias de un grupo de control y un grupo experimental, donde interesa conocer si los resultados de la terapia motriz de expresión corporal mejora con la utilización de Willow, y por las características de los datos (analizados en el punto 3), los investigadores deciden emplear la prueba estadística de t-students para muestras emparejadas de una cola.

**Tabla 13-3:** Prueba t-students para muestras emparejadas de una cola

	Terapia sin Willow_VA	Terapia con Willow_Va
Media	65,8333333	93,5416667
Varianza	157,936508	27,140873
Observaciones	8	8
Coefficiente de correlación de Pearson	0,78853974	
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	7	

Estadístico t	-8,66396327	
P(T<=t) una cola	2,7299E-05	
Valor crítico de t (una cola)	1,89457861	
P(T<=t) dos colas	5,4599E-05	
Valor crítico de t (dos colas)	2,36462425	

Fuente: Propia

Realizado por: Andrade L, Vallejo D, 2020

El valor del obtenido de la prueba estadística arroja que  $t\text{-calculado} > t\text{-critico}$ ,  $p\text{-valor} < 0,05$ , por tanto, se rechaza  $H_0$ .

#### Paso 5: Conclusión

El análisis estadístico de los datos de las muestras comparadas indica con un nivel de confianza del 95% que la utilización de Willow\_VA mejoró los resultados de la terapia motriz de expresión corporal de los niños y que dicha diferencia no se debe al azar sino a la utilización del prototipo.

## CAPITULO IV

### 4 EVALUACIÓN ECONÓMICA

En la siguiente sección se describe el análisis económico realizado, el cual tiene como objetivo estipular el precio final del prototipo Willow\_VA.

#### 4.1 Análisis de costos

Para dicho análisis se detalla el valor de los elementos utilizados en la parte Hardware del prototipo Willow\_VA. En la tabla 1-4, se puede observar el listado de dichos elementos.

**Tabla 1-4:** Análisis de costos de Hardware

<b>Cant.</b>	<b>Detalle</b>	<b>V. Unitario</b>	<b>V. Total</b>
15	Servo motor hitec hs-311	13,5	202,5
2	Servo motor sg90 tower pro	2,24	4,48
1	Kit raspberry pi4 4gb 32g	130	130
1	Cámara 8mp para raspberry pi visión nocturna	47,5	47,5
3	Batería lipo 2s 7,4v 1500mah turnigy nano-tech 35-70c	27,99	83,97
3	Modulo regulador step down lm2596 3a	2,25	6,75
2	Material de impresión rollo de PLA	35	70
50	Tornillos de 1/8	0,05	2,5
1	Arduino nano v3 ch340g	6,5	6,5
<b>Costo total de Willow_VA</b>			<b>554,2</b>

Fuente: Propia

Realizado por: Andrade L, Vallejo D, 2020

#### 4.2 Relación de costo

Willow\_VA es un robot diseñado específicamente para realizar terapias de estimulación motriz enfocadas a niños en etapa pre escolar a través de reconocimiento de movimientos basado en redes neuronales. A diferencia de robots comerciales sin un propósito específico, Willow\_VA puede detectar e imitar el movimiento de la persona en tiempo real, gracias a una sola cámara ubicada dentro del robot, a diferencia de otros que lo realizan con dos cámaras.

El sistema de visión artificial incorporado en Willow\_VA se lo ha realizado sobre una arquitectura a base de software libre. La incorporación de este sistema a un robot comercial conllevaría una inversión económica, ya que habitualmente este tipo de robots cuentan con softwares licenciados

habilitados durante un tiempo definido los cuales vienen incluidos en la compra del robot, acabado este tiempo se debe adquirir nuevas licencias.

En el apartado anterior se puede observar que el costo total del prototipo Willow\_VA es de 554.2 dólares americanos. Cabe mencionar que uno de los prototipos humanoides que más se asemeja en su funcionamiento a Willow\_VA es el Robot humanoide NAO, el cual tiene un costo comercial de 9834.64 dólares americanos. NAO posee un entorno propio de programación denominado Choregraphe el cual es compatible con los softwares de Python y Open CV, por lo que la incorporación del sistema de visión artificial de Willow\_VA no implicaría un recargo extra durante el tiempo que el robot posea la licencia activa. En la tabla 2-4 se muestra una comparación entre el costo de Willow\_VA y NAO.

**Tabla 2-4:** Comparación de costo

<b>Robot</b>	<b>Valor</b>
Willow_VA	554,2
NAO V6	9834,64

**Fuente:** Propia

**Realizado por:** Andrade L, Vallejo D, 2020

De la comparación realizada se puede determinar que Willow\_VA alcanza un valor que representa el 5,64% del valor comercial de NAO significando un ahorro considerable, lo cual demuestra que el prototipo implementado es de bajo costo.

Los beneficios que ofrece Willow\_VA son considerables frente a cualquier robot de tipo comercial, dentro de los cuales podemos mencionar:

- ✚ Willow\_VA es una herramienta de ayuda para el desarrollo de terapias de estimulación motriz, la cual al tener una apariencia similar a la de un juguete obtiene por completo la atención de los niños mejorando así la eficiencia de la terapia.
- ✚ Al contar con el diseño original de Willow\_VA, se tiene la certeza de que en caso de producirse el daño de alguna pieza esta se la puede fabricar nuevamente sin la espera de mucho tiempo.
- ✚ Willow\_VA al estar enfocado a desarrollar una tarea específica garantiza un menor tiempo de procesamiento y ahorro de recursos innecesarios y costosos.

## CONCLUSIONES

Se ha logrado diseñar e implementar el sistema de visión artificial para recrear movimientos en Willow\_VA, con el propósito de ayudar en las terapias motrices en niños de 3 a 5 años, cumpliendo de manera efectiva con los objetivos establecidos. El sistema puede detectar satisfactoriamente los movimientos que se producen en la parte media superior del cuerpo humano y extrae su posición para su posterior procesamiento.

En base a la investigación realizada se logró desarrollar un algoritmo capaz de detectar de manera precisa los movimientos realizados por el ser humano para posteriormente replicarlos en Willow\_VA. Para ello se trabajó con sistemas embebidos y se empleó la técnica Posenet la cual genera una estimación de las articulaciones del cuerpo humano y sus ubicaciones denominadas como puntos clave.

El software y el Hardware utilizados en el prototipo Willow\_VA garantizan un adecuado funcionamiento y minimizan el tiempo de respuesta del prototipo. Con el propósito de desarrollar una herramienta de bajo costo se hizo uso de softwares no licenciados.

De la prueba de evaluación del sistema para la detección de personas se mostró que el prototipo Willow\_VA presenta una efectividad del 100%, es decir el sistema es capaz de detectar y diferenciar la presencia de distractores que se asemejen a la silueta humana.

De la prueba de iluminación se demostró que el sistema tuvo un gran porcentaje de error en la noche, no obstante, el porcentaje general obtenido es del 94.37% es decir que el sistema funciona adecuadamente durante el transcurso del día.

De la prueba de tiempo de procesamiento se determinó que el tiempo de procesamiento depende directamente del número de grados de libertad detectados, ya que mientras más grados de libertad se obtenga mayor va a ser el costo computacional para su procesamiento y por ende la latencia de respuesta de Willow\_VA.

La prueba de aceptación del prototipo Willow\_VA se la desarrolló con ayuda de las encuestas realizadas a los niños y a los docentes colaboradores. De los datos obtenidos se pudo determinar la gran acogida que tuvo Willow\_VA tanto por parte de los niños como de los docentes, así también el porcentaje de efectividad de la terapia de motricidad desarrollada con los niños la cual según los expertos obtuvo un porcentaje del 100%.

De la validación estadística de la eficiencia de las terapias realizadas con Willow\_VA se pudo concluir, que evidentemente las terapias asistidas por el prototipo ayudo en el desempeño de los niños. Esto se debe a que con la ayuda de Willow\_VA los niños en su gran mayoría pudieron realizar toda la terapia.

## RECOMENDACIONES

Trabajar con colores de vestimenta diferente a la del fondo, porque en ciertas horas del día el sistema tiende a lanzar falsos positivos debido a las sombras y falta de colores para la recepción de los datos de la cámara.

Trabajar con un sistema de ventilación dedicados para el procesador de la tarjeta de desarrollo, por temas de sobrecalentamiento en un periodo de tiempo elevado lo cual es contraproducente para los elementos físicos del mismo.

Se recomienda trabajar con un framework de código de aprendizaje profundo de paga ya que tensorflow lite tiene ciertos problemas de compilación para la comunicación y ejecución de rutinas más complejas para futuras aplicaciones de las misma.

Para trabajos a futuro que se puedan realizar con Willow\_VA se recomienda utilizar una cámara dedicada para la adquisición de datos en el espacio, ya que la interpretación en la tarjeta de desarrollo quita recursos de ejecución, lo que entorpece el proceso de lectura y cadena de datos que se enviar al robot.

Se recomienda usar baterías de mejor tecnología tanto en tamaño como en rendimiento, debido a que alteran la estética del robot y su respectiva recarga de las mismas, el modelo físico de Willow\_VA para futuras aplicaciones llevara más motores en las manos para cubrir terapias de motricidad fina.

## **GLOSARIO**

**Sensorial:** Pertenciente o relativo a la sensibilidad o a los órganos de los sentidos. (RAE, 2001)

**Motriz:** Dominio del ser humano sobre su propio cuerpo. (Barreno Salinas & Macias Alvarado, 2015)

**Cognitiva:** Adquisición de información recibida por el ambiente. (Saborit et al., 2012)

**Psicomotriz:** Es la capacidad de razonar y moverse. (Morán Mendoza, 2017)

**Ubuntu:** Es un sistema operativo de código abierto. (Secada Carral, 2019)

**Python:** Lenguaje de programación de propósito general. (Python TM, 2020)

**OpenCV:** Es una librería software de visión artificial y machine learning. (OpenCV, 2020)

**Inventor:** Herramienta profesional y específica para el diseño 3D. (Autodesk, n.d.)

**ARM:** Procesador con arquitectura x86-64 de bajo consumo. (Mesa Zúñiga, 2015)

**Posenet:** Herramienta basada en redes neuronales, que estima puntos. (Moreno & Vargas, 2016)

**Tensorflow:** Plataforma para inteligencia artificial de aprendizaje profundo. (Nanonets, 2019)

**Lux:** Nivel de iluminación o densidad luminosa. (Rojas & Silva, 2017)

## BIBLIOGRAFÍA

**ALARCÓN, I.** *Robot educativo hecho en el Ecuador*, 2015. [En línea] [Consulta: 13 de marzo de 2020]. Disponible en: <https://www.elcomercio.com/tendencias/teebot-robot-tecnologia-educacion-ecuador.html>

**ARDUINO.CL.** *Arduino Nano*. [En línea], 2020. [Consultada: 06 de marzo de 2020]. Disponible en: <https://arduino.cl/arduino-nano/>

**AUTODESK.** *Inventor | Software de CAD 3D y diseño mecánico | Autodesk - Asidek.* [En línea]. [Consultada: 06 de marzo de 2020]. Disponible en: <https://www.asidek.es/industria-y-fabricacion-2/autodesk-inventor-professional/>

**BARON COHEN, S.** "Autismo: Un trastorno cognitivo específico de la ceguera mental". *Revista internacional de Psiquiatría*, vol. 2, núm 1 (2009), pp. 81-90.

**BARRENO SALINAS, Z.; & Macias Alvarado, J.** "Importance and relationship in early stimulation to enhance psychomotor intelligence in infants". *Ciencia Unemi*, vol. 8, núm. 15 (2015), pp. 110-118. [Consulta: 30 de marzo de 2020] ISSN 1390-4272 Disponible en: <https://doi.org/10.29076/issn.2528-7737vol8iss15.2015pp110-118p>

**CALVOPIÑA, F.; & VALLADARES, P.** Interpretación de expresiones faciales en adultos mayores utilizando la Visión Artificial del robot Humanoide NAO. [En línea] (Tesis)(Pregrado) Universidad Politécnica Salesiana, Quito, Ecuador. 2017. [Consulta: 05 de marzo de 2020 ]. Disponible en: <http://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/5081/1/UPS-CYT00109.pdf>

**CAYAMBE, D.; & CASTAÑEDA, J.** Inteligencia Artificial aplicada a robot. [En línea] (Trabajo de titulación)(Pregrado) Escuela Superior Politecnica de Chimborazo. Riobamba, Ecuador. 2016. [Consulta: 13 de marzo de 2020] disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/6036>

**CRUZ ARDILA, J.; & SALAZAR, Y.** *Aplicación robótica para realizar terapias en niños con autismo*. 2014

**EL UNIVERSO.** *Con robot y celular se busca mejorar terapias | Infografías | El Universo*. [En línea] [Consulta: 04 de marzo de 2020] Disponible en: <https://www.eluniverso.com/2015/09/30/infografia/5156450/robot-celular-se-busca-mejorar-terapias>

**ELECTRONICCMD.** *MP1584 Regulador Step-Down*. [En línea] [Consulta: 25 de marzo de 2020] Disponible en: <https://www.cdmxelectronica.com/producto/modulo-regulador-mp1584en-dc-dc-3a-set-down-lm2596/>

**ELECTRONICSCALDAS.EC.** *Micro servomotor SG90*. [En línea] [Consulta: 3 de abril de 2020] Disponible en: <https://www.electronicoscaldas.com/es/motores-y-servos/468-micro-servo-motor-sg90.html>

**FLORES, M.; ROBAYO, D.; & SAA, D.** "Histograma del gradiente con múltiples orientaciones (hog-mo) detección de personas." *Revista Vínculos*, vol. 12, núm 2(2015), pp. 138-147.[Consulta: 09 de julio de 2020 ] Disponible en: <https://revistas.udistrital.edu.co/index.php/vinculos/article/view/10991/11830>

**GARCIA, I.** *Visión Artificial y Procesamiento Digital de imágenes usando Matlab*. 2014

**INFANTE, J. M.; & LANZ, L. G.** "Ventajas de la rehabilitación asistida mediante robots." *Medicina Clínica*, vol. 124,(2015), pp. 16–17.[Consulta: 05 de abril de 2020] ISSN 0210-5705 Disponible en: [https://doi.org/10.1016/S0210-5705\(09\)71003-9](https://doi.org/10.1016/S0210-5705(09)71003-9)

**KUMAR SAHA, S.** *Introducción a la robótica.*. España: McGraw-Hill 2000. ISBN 9781456202767.

**LABAN, R.** *El dominio del movimiento*. Segunda Ed. Editorial Fundamentos 2006.

**MARTÍNEZ, A.** *Willow, robot ecuatoriano será galardonado en Italia | Metro Ecuador*. [En línea], 2017. [Consulta: 13 de marzo de 2020] Disponible en: <https://www.metroecuador.com.ec/ec/tecnologia/2017/11/01/robot-ecuatoriano-sera-galardonado-italia.html>

**MATHWORKS.** *MATLAB - El lenguaje del cálculo técnico - MATLAB & Simulink*. [En línea] [Consultada: 13 de marzo de 2020] Disponible en: <https://es.mathworks.com/products/matlab.html>

**MESA ZUÑIGA, A.** Estudio Comparativo de las capacidades de Intel y ARM. [En línea] (Tesis)(Pregrado) Universidad Carlos III de Madrid, Madrid, España. 2015. [Consulta: 18 de marzo de 2020]. Disponible en: [https://e-archivo.uc3m.es/bitstream/handle\\_%20Andres\\_Felipe\\_Mesa\\_Zu%C3%B1iga.pdf](https://e-archivo.uc3m.es/bitstream/handle_%20Andres_Felipe_Mesa_Zu%C3%B1iga.pdf)

**MONCAYO, K.; & ESTRADA, K.** Interacción de un robot mini-humanoide Teleoperado como herramienta de apoyo para terapia de lenguaje en niños del Hospital Provincial General Docente Riobamba. [En línea] (Tesis)(Pregrado) Escuela Superior Politecnica de Cimbrazo, Riobamba, Ecuador. 2017. [Consulta: 13 de marzo de 2020]. Disponible en: <http://dspace.espace.edu.ec/handle/123456789/6877>

**MORÁN MENDOZA, A. M.** "Desarrollo de la motricidad en etapa infantil". *Espirales Revista* [En línea], 2017, (Ecuador) (3). [Consultada: 3 de marzo de 2020]. ISSN 25506862. Disponible en: <https://doi.org/10.31876/RE.V113.11>

**MORENO, J.; & VARGAS, V.** Estudio e implementación de algoritmos de detección de silueta de una persona en imagen digital. [En línea] (Tesis)(Pregrado) Escuela Politecnica Nacional, Quito, Ecuador. 2016. [Consulta: 13 de marzo de 2020]. Disponible en: <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/16802>

**NANONETS.** *Guide to Human Pose Estimation with Deep Learning*. [en línea], 2019. [Consultado: 28 de Julio de 2020]. Disponible en: <https://nanonets.com/blog/human-pose-estimation-2d-guide/>

**OPENCV.** Interface OpenCV 2.4.13.7. [En línea]. [Consulta: 01 de abril de 2020]. Disponible en: [https://docs.opencv.org/2.4/modules/highgui/doc/user\\_interface.html](https://docs.opencv.org/2.4/modules/highgui/doc/user_interface.html)

**PYTHON TM.** Python. [En línea]. [Consulta: 3 de abril de 2020]. Disponible en: <https://wiki.python.org/moin/FrontPage>

**RAE.** *Sensorial | Diccionario de la lengua española*[blog]. 2001. [Consulta: 23 de octubre de 2020]. Disponible en: <https://www.rae.es/drae2001/sensorial>

**RASPBERRY.ORG.** Raspberry Pi 4. [En línea], 2019. [Consulta: 25 de mayo de 2020]. Disponible en: <https://www.raspberrystore.com/raspberry-pi-3.php>

**RASPBERRYPI.ORG.** Pi NoIR Camera V2 – Raspberry Pi. [En línea], 2019. [Consulta: 25 de mayo de 2020]. Disponible en: <https://www.raspberrypi.org/products/pi-noir-camera-v2/>

**REGIDOR, R.** *Las capacidades del niño: Guía de estimulación temprana de 0 a 8 años*. 2da Ed. Madrid-España: Ediciones Palabra, 2005. ISBN 8482397389, pp. 11-15.

**RODRÍGUEZ, C.** Implementación de técnicas de Visión Artificial en un robot humanoide para beneficio de niños con déficit de atención e hiperactividad a través de un ejercicio psicomotriz. [En línea] (Tesis)(Pregrado) Escuela Superior Politecnica de Cimbrazo, Riobamba, Ecuador. 2018. [Consulta: 13 de marzo de 2020]. Disponible en: <http://dspace.espace.edu.ec/handle/123456789/10823>

**ROJAS, R.; & SILVA, R.** *La Visión Artificial en la Robótica*. 2017, pp. 22–28.

**SABORIT, J.; PEREZ, M.; & LANZ, L. G.** *Estimulación temprana y psicomotricidad*. Wanceulen Editorial, 20012. ISBN 9788499932514, pp. 111-121.

**SALAZAR GARCÍA, I. A.** "Los robots y la Inteligencia Artificial. Nuevos retos del periodismo". *Doxa.Comunicación* [En línea], 2018, (España) (27), pp. 295–315. [Consulta: 14 de abril de 2020]. ISSN 1696-019X. Disponible en: [\]https://doi.org/10.31921/doxacom.n27a15](https://doi.org/10.31921/doxacom.n27a15)

**SECADA CARRAL, C.** Plataforma portátil de pentesting basada en Raspberry Pi. [En línea] (Tesis)(Pregrado) Universidad de Cantabria, Cantabria, España. 2019. [Consulta: 13 de Julio de 2020]. Disponible en: <https://repositorio.unican.es/xmlui/handle/10902/16367v>

**SIGMAN, M.; & CAPPS, L.** *Niños y niñas autistas*. Madrid-España: Ediciones Morata, S.L., 2000. ISBN 84-7112-426-2.

**SOSA, C.** "Robótica presente en la Ciencia UACSYT". *CienciaUAT* [En línea], 2006, (Mexico) vol. 1 (2), pp. 30-31. [Consulta: 13 de marzo 2020]. ISSN 2007-7521. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=441942906014>.

**TORRES, M.; & ENRIQUE, E.** Desarrollo de secuencias psicomotrices mediante el uso de un robot humanoide, en los niños del centro de estimulación temprana "Baby Place". [En línea] (Tesis) (Pregrado) Universidad Politecnica Salesiana, Guayaquil, Ecuador. 2017. [Consulta: 1 de marzo de 2020]. disponible en: <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/14179>

**TORRES VARGAS, L.** *Introducción a la Robotica*, 2012. ISBN 9786079106492, pp. 12–23.

**VACA, I.; & VILLAGÓMEZ, L.** Diseño y construcción de un robot interactivo y didáctico para la empresa "IPREX". [En línea] (Tesis) (Pregrado) Escuela Superior Politecnica de Chimborazo, Riobamba, Ecuador. 2017. [Consulta: 13 de marzo de 2020]. Disponible en: <http://dspace.espech.edu.ec/handle/123456789/6520>